

UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA em **ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO

Tema: Estudo de viabilidade de produção de biodiesel pelo processo da hidroesterificação de óleos alimentares usados.

Autor: Jussara Cristina Fortes Sousa Nº 3362

Orientador: Mestre Patrícia Rendall Rocha

Mindelo, 2018

Jussara Cristina Fortes Sousa

**Estudo de viabilidade de produção de biodiesel pelo processo
da hidroesterificação de óleos alimentares usados.**

Aluna: _____

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade do Mindelo como parte
integrante dos requisitos para obtenção do
grau de Licenciatura em Engenharia em
Energias Renováveis.

Orientador: Mestre Patrícia Rendall Rocha

Mindelo, 2018

DEDICATÓRIA

Dedico à Deus, meu pai todo poderoso;

Aos meus pais, que batalharam o
possível aos seus alcances para que
tivesse a melhor das educações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pela dedicação, amor, motivação e esforço que transmitiram ao longo da minha caminhada.

Quero agradecer à minha orientadora, a Mestre Patrícia Rendall Rocha, pela disponibilidade, esclarecimentos prestados, dedicação, apoio e pelo facto de acreditar na possibilidade de realização deste trabalho, mesmo com todas as dificuldades encontradas.

Agradeço a Vivo Energy pela disponibilização do laboratório para realização dos experimentos e a Frescomar pela disponibilização dos reagentes. Parceiros-chave na realização deste projecto.

Aos meus professores e ao coordenador João Dias pela dedicação na transmissão de conhecimentos ao longo do curso.

Agradeço ao Wilson Soares, Adilson Fortes e ao Sr. Aldino pelo apoio disponibilizado na realização do trabalho.

Aos meus amigos e familiares, agradeço o apoio, amizade, incentivo e confiança que me transmitiram ao longo de toda minha vida académica. E em especial a minha irmã Yasmin, a minha prima Isa e aos meus amigos Ariel, Franklin e Sara pela ajuda na realização dos inquéritos.

A todos, um muito obrigado.

“O fato de que óleos vegetais possam ser utilizados com facilidade parece ser insignificante para os dias de hoje, mas estes óleos podem talvez se tornar importantes no futuro, da mesma forma como são importantes hoje os óleos minerais e os produtos do alcatrão. Alguns anos atrás, os últimos não estavam muito mais desenvolvidos do que os óleos vegetais nos dias de hoje e, mesmo assim, atingiram a importância que lhes é hoje conferida. Ninguém pode prever a importância que estes óleos terão para o desenvolvimento das colônias. De qualquer forma, eles permitiram demonstrar que a energia dos motores poderá ser produzida com o calor do Sol, que sempre estará disponível para fins agrícolas, mesmo quando todos os nossos estoques de combustíveis sólidos e líquidos estiverem exauridos”.

Rudolf Diesel (1858-1913)

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
I. INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	16
1.2 Objectivo geral do trabalho:	18
1.3 Objectivos específicos:	18
1.4 Metodologia de Investigação	18
1.5 Estrutura do Trabalho	19
II. ESTADO DE ARTE	20
2.1 Conceito: Biocombustíveis e Biodiesel	20
2.2 História do Biodiesel	21
2.3 Produção Mundial do biodiesel	23
2.4 Propriedades do biodiesel	24
2.4.1 Propriedades Físicas	24
2.4.2 Propriedades Químicas	25
2.5 Especificações do biodiesel	26
2.6 Matéria-prima para produção de biodiesel	28
2.6.1 Óleos e Gorduras para fins de geração de energia	28
2.6.1.1 Óleos e Gorduras comestíveis <i>versus</i> Óleos e gorduras não comestíveis	31
2.6.2 Óleos alimentares usados (OAU's)	32
2.6.3 Microalgas	35
2.6.3.1 O pré-tratamento dos óleos	36
2.6.4 Álcoois utilizados nas reações químicas de produção de biodiesel	37
2.6.5 Catalisadores	39
2.6.5.1 Catalisadores homogéneos alcalinos	39
2.6.5.2 Catalisadores homogéneos ácidos	40

2.6.5.3	Catalisadores heterogéneos	41
2.6.5.4	Catalisadores enzimáticos	42
2.6	O subproduto: Glicerina	42
2.7	Processos de produção de biodiesel	43
2.7.1	Microemulsões	43
2.7.2	Craqueamento térmico ou pirólise	44
2.7.3	Transesterificação.....	45
2.7.3.1	Reação de transesterificação	46
2.7.4	Hidroesterificação	48
2.8	Impactes associado ao uso de biodiesel	53
2.8.1	Impactes ambientais	53
2.8.2	Impactes técnicos	55
2.8.3	Impactes socioeconómicos	55
III.	CASO DE ESTUDO	56
3.1	Apresentação do caso de estudo: Produção de biodiesel através de óleos alimentares usados produzidos na ilha de São Vicente.	56
3.1.1	Apresentação dos dados recolhidos no inquérito	57
3.1.2	Lógica para a cadeia de produção de biodiesel utilizando como matéria-prima óleos de frituras residuais.	65
3.2	Procedimentos laboratorial de produção de biodiesel utilizando como matéria-prima óleos alimentares usados.	70
3.2.2	Produção de biodiesel via transesterificação em duas etapas.....	71
3.2.3	Produção de biodiesel via hidroesterificação	74
IV.	PLANO ECONÓMICO E FINANCEIRO DA FÁBRICA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL.....	77
4.1	Investimento.....	77
4.2	Rendimentos/Receitas	79
V.	RESULTADOS	88
5.1	Discussão dos resultados	89
5.1.1	Discussão dos Resultados dos inquéritos/entrevistas efectuadas	89
5.1.2	Discussão dos Resultados da experiência de produção de biodiesel em laboratório	90
5.1.2.1	Reacção de Transesterificação	91
5.1.2.3	Comparação do processo de transesterificação e hidroesterificação.....	95
5.1.3	Discussão sobre a Viabilidade Económica da produção de biodiesel em Cabo Verde	95

VI. CONCLUSÃO	97
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	98
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
VIII. ANEXOS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reação química da produção de ésteres.	20
Figura 2: Representação das moléculas de: (A) glicerol, (B) monoglicérideo, (C) diglicérideo e (D), triglicérideo.	29
Figura 3: Representação da molécula de ácido gordo.	29
Figura 4: Representação da molécula de glicerina	43
Figura 5: Etapas do processo da transesterificação	45
Figura 6: Representação da reação de transesterificação.	46
Figura 7: Fluxograma simplificado do processo de hidroesterificação.	49
Figura 8: Esquema de reação de hidrólise.....	50
Figura 9: Reação de esterificação.....	51
Figura 10: Ciclo de carbono na produção do biodiesel	54
Figura 11: Ilha de São Vicente.....	56
Figura 12: Gráfico da representatividade do tipo de instituição na amostra.	57
Figura 13: Gráfico da representatividade do tipo de óleo utilizado nos estabelecimentos.....	58
Figura 14: Gráfico da representatividade da quantidade de óleo consumida mensalmente.	59
Figura 15: Gráfico da representatividade da troca de óleo por categorias.	60
Figura 16: Gráfico da representatividade das formas de descarte de óleos alimentares usados.	62
Figura 17: Gráfico de representatividade do conhecimento sobre formas de reciclagem de óleos alimentares usados.	63
Figura 18: Gráfico da representatividade do tipo de reciclagem conhecido pela população.	64
Figura 19: Gráfico da representatividade da disposição pelas pessoas em entregar os óleos alimentares usados a uma entidade de recolha.	65
Figura 20: Logística de uma cadeia de produção de biodiesel utilizando como matéria-prima os óleos de frituras residuais.	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades físicas do biodiesel	24
Tabela 2: Propriedades químicas do biodiesel	25
Tabela 3: Especificações do biodiesel segundo as normas americanas (ASTM D-6751), europeias (EN 14214) e brasileiras (ANP).....	26
Figura 3: Representação da molécula de ácido gordo.....	29
Tabela 4: Composição química em ácidos gordos de alguns tipos de óleos vegetal.....	30
Tabela 5: Vantagens e limitações do uso de óleo alimentar usado para produção de biodiesel. 34	
Tabela 6: Vantagens e desvantagens associados aos principais álcoois utilizados na produção de biodiesel.	37
Tabela 7: Comparação de desempenho dos álcoois metílicos e etílicos.	39
Tabela 8: Vantagens da hidroesterificação em relação a transesterificação.....	51
Tabela 9: Divisão por categorias do consumo de óleo nos estabelecimentos.	58
Tabela 10: Frequência da troca dos óleos.	60
Tabela 11: Representatividade das formas de descarte de óleos de alimentares usados.	61
Tabela 12: Conhecimento sobre formas de reciclagem de óleos alimentares usados.	62
Tabela 13: Matriz FOFA da cadeia de produção de biodiesel através de óleos alimentares usados recolhidos na ilha de São Vicente.	69
Tabela 14: Investimentos	78
Tabela 15: Consumo mensal de matéria-prima para produção de biodiesel, considerando uma recolha de 10.000L/mês.	79
Tabela 16: Receitas (valores anuais)	84
Tabela 17: Valor acrescentado líquido (VAL) e Taxa de rentabilidade interna (TIR).....	86
Tabela 18: Retorno do investimento	87

RESUMO

Este trabalho teve como objectivo avaliar a viabilidade de produção de biodiesel pelo processo de hidroesterificação utilizando como matéria-prima os óleos alimentares usados produzidos nos estabelecimentos hoteleiros e de restauração na ilha de São Vicente.

Apesar de o biodiesel apresentar-se uma alternativa promissora como combustível, para substituição do diesel mineral, ocasiona alguns problemas no processo convencional de produção, transesterificação, que requer matérias-primas com baixo teor em humidade e acidez, o que não permite que matérias-primas de baixo custo como o óleo alimentar usado sejam uma opção promissora na rota produtiva. Por outro lado, o processo de hidroesterificação permite o uso de quaisquer matérias-primas independentemente do teor em humidade e acidez.

Inicialmente foi realizado uma pesquisa de campo para avaliar a quantidade de resíduo de óleo gerado pelos estabelecimentos comerciais de São Vicente e se os mesmos estariam dispostos a doarem o óleo alimentar usado a uma entidade de recolha para fins recicláveis. Dos 40 estabelecimentos comerciais entrevistados, todos mostraram-se disponíveis em entregar o óleo à entidade recolhadora.

Depois prosseguiu-se a produção do biodiesel em escala laboratorial para analisar as opções de produção pelo processo de transesterificação em 2 etapas e pela hidroesterificação como forma a verificar a melhor rota produtiva. Os resultados obtidos mostraram que o biodiesel obtido a partir da transesterificação do óleo alimentar usado apresentou um rendimento reacional de 67,2% em massa e o biodiesel obtido a partir de hidroesterificação do óleo alimentar usado apresentou um rendimento reacional de 78 % em massa.

Para converter os óleos alimentares usados em biodiesel pela hidroesterificação será necessário um investimento para implementação de uma fábrica com capacidade de 7.920L/mês no valor de 3.783.499\$00ECV. Baseando em um rendimento otimizado do processo da fábrica de 85% de produção de biodiesel e 10% de glicerina foi estimado o custo de produção de 1L de biodiesel no valor de 211\$00ECV.

Palavras-Chave: Biodiesel, óleo alimentar usado, hidroesterificação, rendimento, custo.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the viability of biodiesel production by the hydroesterification process using as raw material the waste cooking oils produced in commercial establishments on the island of São Vicente.

Although biodiesel presents a promising alternative as a fuel to substitute mineral diesel, it causes some problems in the conventional transesterification process, which requires raw materials with low moisture content and acidity, which does not allow raw materials of low cost as the waste cooking oil is a promising option in the productive route. On the other hand, the hydroesterification process allows the use of any raw materials regardless of moisture content and acidity.

Initially a field survey was carried out to evaluate the amount of oil residue generated by the commercial establishments of São Vicente and whether they would be willing to donate the residual fry oil to a collection entity for recyclable purposes. Of the 40 commercial establishments interviewed, all were in favor of delivering the oil to the collecting entity.

The biodiesel production was then carried out on a laboratory scale to analyze the production options by the transesterification process in two stages and by hydroesterification to verify the best production route. The results obtained showed that the biodiesel obtained from the transesterification of the waste cooking oil showed a reaction yield of 67,2% by mass and the biodiesel obtained from the hydroesterification of the waste cooking oil showed a reaction yield of 78% by mass.

In order to convert the waste cooking oil into biodiesel by hydroesterification, an investment will be required to implement a mill with a capacity of 7.920L / month in the amount of 3,783,499.00ECV. Based on the optimized yield of the factory process of 85% of production of biodiesel and 10% glycerin, the cost of 1L biodiesel in the amount of 211\$ 00CVE.

Keywords: Biodiesel, waste cooking oil, hydroesterification, yield, cost.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	– graus Celcius
\$	- cifrão
%	- percentual
%vol	– percentagem em volume
%(m/m)	– percentagem em relação a massa
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	- Associação Nacional de Petróleo
ASTM	- American Society for Testing Materials
B	– blend
B5	– blend 5% biodiesel e 95% diesel
CEN	-Comité Européen de Normalisation
cp	– calor específico
ECV	– Escudo Cabo-verdiano
ETAR	– Estação de Tratamento de Águas Residuais
GEE	– Gases de efeito estufa
g	- Grama
g/mol	– Grama por mol
g/mL	– Grama por mililitro

H	– Horas
HCl	- Cloreto de sódio
H ₂ SO ₄	- ácido sulfuric
H ₂ O	- água
ISO	- Internacional Organization for Standardization
Kg	– Quilogramas
Km ²	– Quilometro quadrado
Kg/m ³	– Quilograma por metro cúbico
KJ	– Kilo Joule
KJ/ Kg°C	– Kilo Joule por Quilograma graus Celcius
KW	– Kilo Watt
KWh	– Kilo Watt Hora
L	– Litro
L/mês	– Litro por mês
m	– Massa
MDL	- Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
Mr	– Massa relativa
m ³	- Metros cúbico
mg/Kg	– Miligrama de um composto por quilograma de outro
mg	– Miligrama
mm ² /s	– Milímetro quadrado por segundo
min	– Minuto

n	– Número de mol
nm	– Nanómetro
N	- Norte
NaCl	- Cloreto de sódio
NaOH	- Hidróxido de sódio
No _x	- Óxidos de azoto
OAU	– Óleo alimentar usado
pH	– potencial hidrogeniônico
R\$	– Real Brasileiro
TEP	– Tonelada equivalente de petróleo
TIR	– Taxa de rentabilidade interna
ton	– Tonelada
ton/mês	– Toneladas por mês
VAL	– Valor atual liquida
W	– Oeste

I. INTRODUÇÃO

A demanda global de energia para transportes aumentou cerca de 2% desde 2005, sendo que representa cerca de 28% do consumo total de energia e a sua utilização representa cerca de 23% do total das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) que estão na origem das alterações climáticas e de grande parte da poluição atmosférica. A produção de óleo combustível representa cerca de 93% da energia final consumida nos transportes (Zervos, 2017).

Com intuito de abrandar um possível esgotamento das fontes de energia fósseis e a crise ambiental provocada pela utilização desses recursos, torna-se imperativo o uso eficaz e eficiente de fontes de energia renováveis. Neste cenário, a busca por alternativas energéticas tem sido intensificada, principalmente por substitutos aos combustíveis de primeira geração como gasolina e o óleo diesel (Santos et al, 2015).

Segundo o Relatório de Base para Cabo Verde (RBCV) (2014), em Cabo Verde, o sector dos transportes apresenta-se como o maior consumidor sectorial de energia, consumindo mais de 40% do consumo total de energia que constitui uma parte importante do mercado e do consumo de energia, sobretudo no sector de transportes terrestres (74,9%). Neste sentido, pode-se afirmar que é um sector que consome a maior parte dos combustíveis importados. Necessita, portanto, de medidas que possam diminuir ou apoiar o consumo de combustíveis alternativos, entre os quais, os renováveis, dado que o sector de combustíveis não tem tido alterações institucionais desde 2003 com a criação do agente de regulação das atividades.

O biodiesel é um biocombustível derivado de fonte renovável para uso em motores de combustão interna com ignição por compressão que vem se mostrando como uma alternativa promissora na produção de biocombustíveis, como substituto do diesel de petróleo devido às suas características físico-químicas. No entanto o biodiesel tem enfrentado alguns problemas na sua rota produtiva devido ao custo elevado da matéria-prima propícia (baixo teor em acidez e humidade) para o processo convencional (transesterificação), de óleos vegetais refinados. Recentemente vem sendo estudado o processo de hidroesterificação que demonstrou ser uma mais-valia na produção de

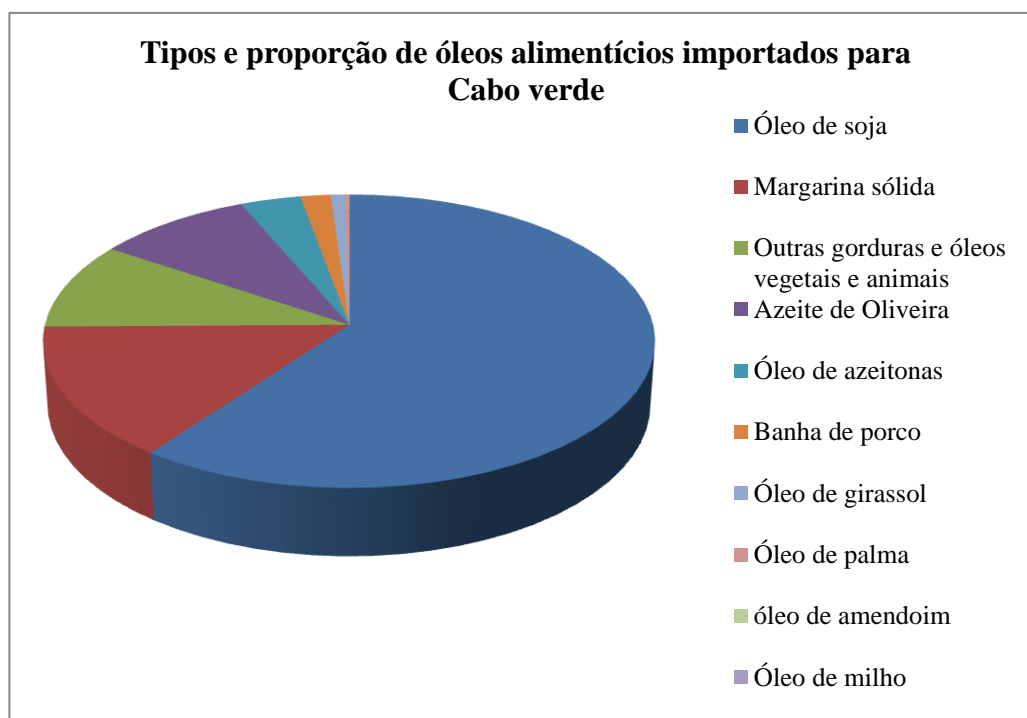
biodiesel tendo como matérias-primas ácidos gordos em vez de triglicerídeos, independentemente do teor em acidez e humidade (Santos et al, 2015).

Neste sentido, este projeto visa explorar a sua área de maior fraqueza que é o custo da matéria-prima a ser utilizada e sua confrontação com os outros sistemas que rodeiam o ciclo de vida do biodiesel.

Em alternativa, Cabo Verde é um país centrado no turismo. Segundo dados do Instituto Nacional de Estatísticas (INE), no ano de 2016, a hotelaria registou mais de 644 mil hóspedes, correspondendo a um acréscimo de 13,2% face ao ano de 2015. No mesmo período, as dormidas cresceram 10,3%. O sector das indústrias alimentares representou nesse ano 51,4% da proporção do volume de negócios no sector de indústrias de Cabo Verde, sendo que as ilhas com maior números de estabelecimentos hoteleiros são a ilha de Santiago (cerca de 50), Santo Antão (42) e São Vicente (41). Embora sejam as ilhas do Sal e Boavista com maior taxa de ocupação.

Por outro lado, segundo dados de Estatísticas do Comércio Externo (2016), o país conta com uma importação anual de gorduras e óleos vegetais e animais no total de 10.298 toneladas/ano, sendo que a fração dos óleos e gorduras utilizadas para manufatura de alimentos corresponde a 96,8% deste valor.

Figura 1: Gráfico referente aos tipos e proporção de óleos alimentícios importados para Cabo Verde



Fonte: Elaboração própria com dados da INE, 2016

Estes dados aliados à crescente população residente, permite uma coleta satisfatória do óleo alimentar usado, que normalmente é descartado sem qualquer tratamento o que contribui para a poluição ambiental. É este o objectivo do trabalho ora apresentado. Este projeto pretende estudar a viabilidade da produção de biodiesel tendo como matéria-prima óleo alimentar usado utilizando o processo da hidroesterificação, ao invés da transesterificação, por forma a obter um melhor rendimento na síntese de ésteres e um biodiesel com qualidade requerida para uso como aditivo ao diesel convencional (blend).

1.1 Justificativa

Actualmente, as alterações climáticas e a deficiente oferta segura de energia a preços acessíveis apresentam-se como umas das principais preocupações da sociedade. As constantes flutuações dos preços de energia e os recentes eventos ambientais catastróficos observados levam-nos a refletir sobre a vulnerabilidade do sistema energético mundial.

A necessidade de uma economia sustentável orientada para o futuro e a garantia no abastecimento de energia, vem acelerando a investigação e o desenvolvimento de projetos de fontes renováveis de energia no mundo.

De acordo com o Relatório de Base para Cabo Verde (2014), em Cabo Verde, segue-se a mesma ideologia quanto a adoção de alternativas para redução do consumo de combustíveis e poluição do ambiente, sendo que o governo adotou algumas doutrinas para o sector energético expressas no Documento de Políticas Energéticas de Cabo Verde como forma a construir um sector energético, seguro, eficiente e sustentável assentes em 4 pilares fundamentais:

- *Segurança Energética e redução de dependência das importações – garantir a redução da dependência das importações de energia e facilitar o acesso continuo ao fornecimento de energia, não obstante as incertezas e imprevisibilidades do mercado mundial;*
- *Aposta nas energias renováveis – investir e adotar tecnologias de energias renováveis e alternativas, com a consequente redução da dependência da importação de combustíveis;*
- *Sustentabilidade – garantir a sustentabilidade do sector energético do ponto de vista ambiental, sociopolítico e económico.*
- *Eficiência –garantir um sistema de fornecimento, distribuição e consumo de energia adequado e eficiente em todo o país.*

É nesta base que se encontra a motivação para a realização deste estudo, pois mesmo sendo o biodiesel um combustível explorado há muito tempo e onde já houve grandes avanços tecnológicos na sua exploração, continua a faltar alguns passos para viabilizar a sua produção e ganhar prestígio como o diesel mineral.

O projeto propõe uma alternativa nova a ser explorada, a de produção de biodiesel tendo como matéria-prima óleo alimentar usado, utilizando o processo da hidroesterificação em substituição do processo da transesterificação já bastante explorada no Mundo actual. O processo da hidroesterificação é ainda pouco explorado, no entanto, adequa-se à realidade de Cabo Verde, visto que se trata de um processo menos dispendioso voltado para um país insular que possui pouco terreno para plantação de culturas para fins de geração de energia, em especial as oleaginosas exploradas para biodiesel.

Este projeto pretende estudar a viabilidade da produção de biodiesel por forma a obter um melhor rendimento na síntese de ésteres e um biodiesel com qualidade requerida para uso como aditivo ao diesel convencional (blend).

1.2 Objectivo geral do trabalho:

Contribuir para a melhoria do sector de transportes e dependência face aos combustíveis importados em Cabo Verde através do estudo do processo da hidroesterificação de óleo alimentar usado como alternativa tecnológica na produção de biodiesel.

1.3 Objectivos específicos:

- Avaliar as vantagens associadas à hidroesterificação de óleos alimentares usados;
- Identificar os impactes ambientais, sociais e económicos da produção de biodiesel de óleos alimentares usados;
- Avaliar a viabilidade de produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados produzidas pelos estabelecimentos hoteleiros e de restauração através de inquéritos aplicados em São Vicente;
- Comparar os resultados obtidos da produção de biodiesel em escala laboratorial pelo processo da transesterificação em duas etapas e pelo processo da hidroesterificação;
- Analisar a viabilidade económica da implementação de uma fábrica de produção de biodiesel com capacidade de processamento de óleo de 10.000L/mês.

1.4 Metodologia de Investigação

Para a realização deste trabalho recorreu-se, numa primeira fase, à pesquisa de dados teóricos existentes sobre o assunto através da internet e de bibliografias, numa segunda fase fez-se o levantamento de dados do Caso de Estudo através de inquéritos realizados que, posteriormente, foram trabalhados no Software IBM SPSS 2.0.

Numa terceira fase foi feita a produção do biodiesel em escala laboratorial e discussão dos resultados obtidos, seguindo-se uma quarta fase dedicada ao plano de negócios (viabilidade económica e financeira) de uma fábrica de produção de biodiesel utilizando a folha de cálculo em Excell.

Por fim, foi elaborado o respectivo relatório e as respectivas conclusões sobre o trabalho em questão.

1.5 Estrutura do Trabalho

De acordo com os objetivos descritos, este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos.

No primeiro capítulo encontramos a introdução da problemática tratada, a definição dos objetivos específicos e geral do trabalho, a descrição da metodologia de investigação e estrutura do trabalho.

No segundo capítulo fez-se o levantamento do estado de arte do biodiesel, retratando a sua história, as matérias-primas utilizadas na produção, tecnologias de produção e os impactos associados a este combustível.

No terceiro capítulo fez-se uma abordagem sobre o tema do projeto em si, onde é descrito o caso de estudo, a produção do biodiesel em escala laboratorial, e posteriormente, são discutidos os resultados obtidos durante os mesmos.

No quarto capítulo fez-se a análise do plano de negócio (viabilidade económica e financeira) da fábrica de produção do biodiesel.

No quinto e último capítulo fez-se a análise do trabalho e as considerações finais.

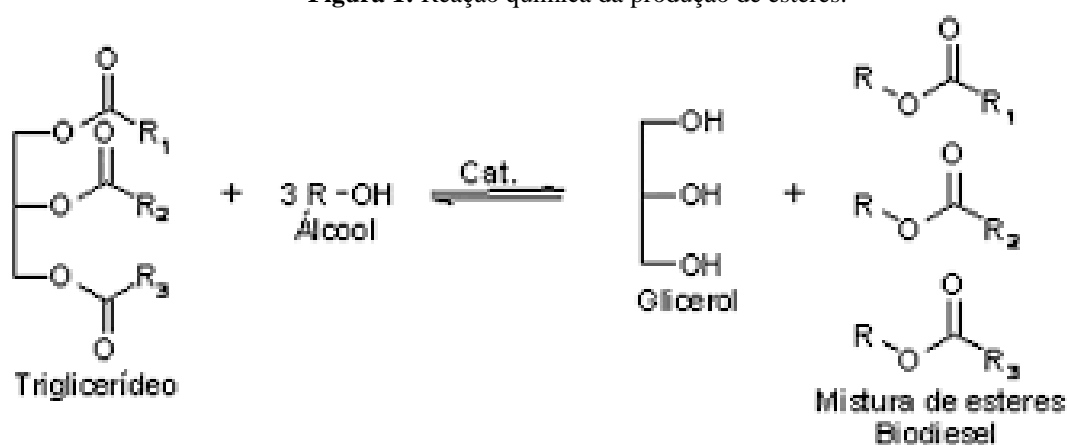
II. ESTADO DE ARTE

2.1 Conceito: Biocombustíveis e Biodiesel

Os biocombustíveis são todos os produtos úteis para geração de energia obtida total ou parcialmente da biomassa (Oliveira *et al*, 2008).

A Lei Diretiva 2003/30CE, do Parlamento Europeu, define o Biodiesel como um éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível.

Figura 1: Reação química da produção de ésteres.



Fonte: Bronzato, 2012

O biodiesel pode ser usado puro ou misturado com o diesel de petróleo em diferentes proporções, sem que isso cause qualquer tipo de prejuízo ou perda de desempenho ao motor. Para identificar a proporção da mistura de biodiesel ao diesel de petróleo, convencionou-se, a nível mundial, que a concentração de biodiesel é informada através de uma nomenclatura específica, definida como Bx, onde x corresponde à percentagem em volume do biodiesel. Deste modo cita-se o termo B20 (do inglês Blend 20%), a mistura mais comum, que significa que uma mistura constituída por 20% de biodiesel e 80% de diesel convencional. Assim, B100 refere-se ao biodiesel puro e as misturas mais comuns no mercado mundial variam entre B2 e B20 (Ma *et al*, 1999; Oliveira *et al*, 2008).

2.2 História do Biodiesel

As recentes políticas de independência energética e mudanças climáticas estimularam o desenvolvimento e a utilização de energia renovável, como a bioenergia.

A bioenergia tem sido utilizada para cozinhar, aquecer e iluminar o ambiente desde os primórdios dos tempos, através da biomassa tradicional, ou seja, produção de energia por recursos oriundos de manuseamento insustentável e por técnicas de baixa eficiência e altos índices de emissão de poluentes. Os biocombustíveis em formas sólidas, líquidas e gasosas foram intensamente pesquisados, produzidos e utilizados nos últimos 15 anos. Os biocombustíveis sólidos incluem lenhas, lascas de madeira, aglomerados de madeira e carvão vegetal de madeira. Os biocombustíveis líquidos cobrem bioetanol, biodiesel, bio-óleo e os biocombustíveis gasosos se estendem ao biogás e syngas (Guo *et al.*, 2015).

O processo de fabricação de combustível a partir de matéria-prima de biomassa no século XIX pelos cientistas E. Duffy e J. Patrick é basicamente o mesmo usado hoje, a transesterificação (Dermibas, 2008).

Ao contrário do que muitos autores afirmam, a aplicação de óleos vegetais como combustíveis não começou com a aplicação de óleo de amendoim no motor de Rudolf Diesel mas sim com os cientistas E. Duffy e J. Patrick que realizaram o processo de transesterificação de óleos vegetais em 1853 (Dermibas, 2008). Alguns anos mais tarde, precisamente em 1900, na Exposição Mundial de Paris, Rudolph Diesel apresentou um motor abastecido com óleo de amendoim mais eficiente que os motores a vapor usados na época, afirmando no seu discurso de 1912 que, a utilização de combustível proveniente da biomassa era o real futuro para o seu motor e prevendo a importância dos óleos vegetais de entre os combustíveis, apesar da insignificância que lhes era atribuída naquela época (Oliveira *et al.*, 2008).

Na década de 30, o governo francês incentivava as experiências com o óleo de amendoim visando conquistar a independência energética. Contudo com o fornecimento de petróleo reestabelecido, os estudos para o desenvolvimento dos combustíveis de origem vegetal foram abandonados (Gonçalves *et al.*, 2007).

O uso de óleos vegetais como combustível foi rapidamente superada pelo uso dos óleos diesel derivado de petróleo por fatores tanto económicos como técnicos. Naquela época, os aspetos ambientais que privilegiam hoje os combustíveis renováveis como o óleo vegetal, não foram considerados importantes e o petróleo foi adquirindo grande importância com o aumento de uso de motores a diesel (Oliveira *et al*, 2008). Por outro lado, os óleos vegetais apresentavam dificuldades na combustão devido a sua elevada viscosidade que impedia uma adequada injeção nos motores, pois os óleos vegetais deixavam depósitos de carbono nos cilindros e nos injetores, necessitando os veículos de manutenção constante (Gonçalves *et al*, 2007).

O primeiro relato de produção de biodiesel a partir da transesterificação de esteres de ácidos gordos foi patenteado pelo belga Chavanne da Universidade de Bruxelas e Louvian, na Bélgica em 1937 (Krzysztof, 2016). Este processo foi proposto para resolver os problemas da elevada viscosidade do biodiesel e aumentar a eficácia da combustão dos óleos que deixavam depósitos de carbono nos motores (Oliveira *et al*, 2008).

Os resultados desses estudos levaram o Instituto Francês do Petróleo a realizarem diversos testes para a produção de biodiesel a partir de óleo de dendê e etanol, que posteriormente testaram em camiões. Mais tarde, pesquisadores americanos desenvolveram a catálise ácida como solução ao problema de saponificação na reação e como forma de viabilizar a transformação de óleos brutos com alto índice de acidez para produção de biodiesel (Gerhard, 2001).

Os investimentos em desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia voltaram a aumentar na década de 70 devido à crise petrolífera internacional que se enfrentou ao detetarem a fragilidade do sector energético sustentado por fontes não renováveis de energia (Oliveira *et al*, 2008).

Na década de 1980, novos esteres foram obtidos e testados como biodiesel, incluindo esteres etílicos derivados de óleo de girassol e esteres metílicos de óleo de soja. O primeiro uso da literatura do termo biodiesel é atribuído ao artigo chinês estabelecido em 1988 e a primeira planta piloto para produção de biodiesel foi desenvolvida na Áustria em 1987 e logo após em 1990 apareceram várias outras plantas de escala industrial na Áustria, Alemanha, Itália e França (Krzysztof, 2016).

Em 1991, a Comunidade Europeia (CE) propôs uma dedução fiscal de 90% para o uso de biocombustíveis, incluindo o biodiesel. Várias usinas de biodiesel foram construídas por toda Europa, sendo que em 2005 a União Europeia respondeu com quase 89% de toda produção mundial do biodiesel (Dermibas, 2008).

No geral, o desenvolvimento e a utilização global de bioenergia e biocombustíveis continuarão a aumentar, esperando que até 2050 a bioenergia forneça 30% da energia fornecida no mundo (Guo *et al.*, 2015).

2.3 Produção Mundial do biodiesel

O biodiesel é um combustível que tem tido um grande crescimento mundial, sendo um elemento de extrema importância para acabar com a dependência energética de vários países, apoiar o crescimento económico de alguns países e diminuir a poluição atmosférica de acordo com as metas do Protocolo de Quioto¹ (Gonçalves *et al.*, 2007).

Segundo dados da Renewable 2017 (Zervos, 2017), os países líderes na produção atual do biodiesel são os Estados Unidos da América (18% produção), Brasil (12% produção), Indonésia, Alemanha e Argentina (10% produção). É de ressaltar que a produção global de biodiesel recuperou depois da queda em 2015, com particular forte crescimento em Indonésia e Argentina.

Em 2016, a produção mundial do biodiesel aumentou em 75% para 30,8 bilhões de litros após o decréscimo de 2015, onde a produção diminuiu 6,5% para 28,7 bilhões de litros. Este aumento em 2016 foi devido principalmente ao restauro do nível de produção na Indonésia e Argentina e significativo crescimento nos Estados Unidos da América, mas, em contraste a produção no Brasil caiu 3% para 3,8 bilhões de litros, apesar dos aumentos nas leis incentivadoras do uso do blend. O decréscimo em 2015 resultou do declínio na demanda de consumo do diesel ligado ao reduzido nível de actividades de negócio (Zervos, 2017).

¹Protocolo de Quioto constitui um tratado complementar á Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, definindo metas de redução de emissões para os países desenvolvidos e os que, na época apresentavam economia em transição para o capitalismo, considerados os responsáveis históricos pelas mudanças climáticas atuais (mma.gov.br).

2.4 Propriedades do biodiesel

Os parâmetros de qualidade do biodiesel são estabelecidos em normas de padronização, de modo a assegurar a alta qualidade do produto e o seu uso seguro como combustível de motores de combustão interna (Lião *et al*, 2007).

Esses parâmetros estabelecidos pelo emprego de normas de algumas associações existentes, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), a *Internacional Organization for Standardization* (ISO) e o *Comité Européen de Normalisation* (CEN). Várias propriedades físicas e químicas foram padronizadas tais como: viscosidade cinemática, ponto de fulgor, número de cetano, entre outros (Lião *et al*, 2007).

2.4.1 Propriedades Físicas

Dentre as várias propriedades físicas para caracterização de um combustível, destacam-se outras propriedades físicas importantes, tais como, a viscosidade, o ponto de fulgor, entre outros, na composição do biodiesel (Maurício, 2008).

Tabela 1: Propriedades físicas do biodiesel

Propriedades físicas	Influência no biodiesel/Veículos
Viscosidade – mede a resistência do óleo a fluir nos motores a ciclo diesel.	Baixa viscosidade provoca desgaste excessivo nas partes lubrificantes do sistema de injeção; Alta viscosidade provoca atomização do combustível e aumento de trabalho forçado pela bomba de óleo.
Densidade – importante propriedade dinâmica de um combustível.	Influência na injeção de um combustível em motores a diesel.
Índice de cetano – mede a qualidade de ignição ou de retardamento de um combustível num motor á diesel.	Quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão desse combustível num motor á diesel.

Ponto de fulgor - menor temperatura na qual um combustível se vaporiza em quantidades suficientes para formar com o ar uma mistura capaz de inflamar-se de imediato perante uma fonte de ignição.	Influência na segurança a ter com o combustível no seu manuseio, transporte e armazenamento.
Aspecto visual – indica a qualidade e possível contaminação do biodiesel.	Influencia no tempo de vida útil dos filtros dos veículos.
Poder calorífico – determina a quantidade de energia disponível num combustível que é liberada na sua câmara de combustão.	Quanto menor for o poder calorífico do combustível, maior será o seu consumo para liberar a mesma energia e vice-versa.
Lubricidade – mede o poder de lubricidade de uma substância.	Influência na bomba de injeção do combustível.

Fonte: Elaboração própria com dados de Knothe *et al*, 2006; Dermibas, 2008; Zuniga *et al*, 2011

2.4.2 Propriedades Químicas

As propriedades químicas são várias se destacando as seguintes: teor em óxidos nítricos, teor em água e sedimentos e índice de acidez.

Tabela 2: Propriedades químicas do biodiesel

Propriedade química	Influência no biodiesel/Veículos
Teor de óxidos nítricos	Apresenta um aumento de emissões de NOx para atmosfera
Teor de água e sedimentos – contribui para aumento de acidez no combustível.	Formação de resíduos no sistema de injeção do combustível e no motor.
Índice de acidez - corresponde à percentagem de ácidos gordos livres presentes numa amostra de combustível.	Reflete no estado de conservação do biodiesel.

Fonte: Elaboração própria com dados de Quercus, 2003; Van Gerpen *et al*, 2004

2.5 Especificações do biodiesel

A especificação de um combustível é um aspecto importante para sua adequada inserção no mercado. As regulamentações e o estabelecimento de padrões de qualidade de um combustível constituem um fator primordial para que seu uso seja bem sucedido (Gonçalves *et al*, 2007).

Como já referido anteriormente estes padrões de qualidade são estabelecidos pelas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), a *Internacional Organization for Standardization* (ISO) e o *Comité Européen de Normalisation* (CEN).

Tabela 3: Especificações do biodiesel segundo as normas americanas (ASTM D-6751), europeias (EN 14214) e brasileiras (ANP).

Propriedades	Unidades	ASTM D-6751 (EUA)	EN 14214 2001 (Europa)	Provisória ANP
Ponto de fulgor	°C	130	101	100
Água e sedimentos	%vol	0,05	500 mg/kg	0,05
Viscosidade á 40°C	mm ² /s	1,9-6,0	3,5-5,5	2,5-5,5
Cinzas sulfatadas max.	%(m/m)	0,02	0,02	0,02
Enxofre max.	mg/kg	500	10	10
Corrosidade ao cobre (1 á 5)	-	3	1	1
Número de octano min.	-	47	51	45

Resíduo de carbono, max.	%(m/m)	0,05	0,3	0,05
Índice de acidez, max.	mg KOH	0,8	0,5	0,8
Glicerina livre, max.	%(m/m)	0,02	0,02	0,02
Glicerina total, max.	%(m/m)	0,24	0,25	0,38
Massa específica à 20°C	kg/m ³	-	860-900 à 15°C	850-900
Fósforo max.	%(m/m)	0,001	0,001	0,001
Destilação (90%), max.	°C	360	-	360 (95%)
Metanol (ou etanol) max	%(m/m)	-	0,2	0,1
Índice de iodo, max.	-	-	0,8	-
Monoglicerídeo, max.	%(m/m)	-	0,2	0,8
Diglicerídeo, max.	%(m/m)	-	0,2	0,2
Triglicerídeo, max.	%(m/m)	-	6	0,2
Est. a oxidação a 100°C min.	H	-	-	6

Fonte: Lião *et al*, 2007; Dermibas, 2008 e Maurício, 2008.

2.6 Matéria-prima para produção de biodiesel

As matérias-primas que são utilizadas para produção do biodiesel são os óleos e gorduras que podem ser de origem vegetal, animal ou residuais, os álcoois de cadeia curta, normalmente o etanol e o metanol e os catalisadores que se subdividem em homogêneos, heterogêneos e enzimáticos.

É importante realçar que as propriedades físicas e químicas da matéria-prima é que determina a tecnologia a ser utilizada, o rendimento do processo de conversão e a qualidade do combustível final (Ramos *et al*, 2017).

Os diferentes tipos de óleo tornam o biodiesel com propriedades químicas e físicas similares quando estes são transesterificados, desde que seja usada a quantidade adequada de álcool e catalisador (Savaliya *et al*, 2013).

A viabilidade de uma matéria-prima é um aspeto imperativo para avaliação do ciclo de vida do biodiesel, visto que depende de sua competitividade tanto técnica quanto económica e socio-ambiental levando alguns aspetos em conta como: o teor em óleo do vegetal e a complexidade exigida no processo de extração, a produtividade por unidade de área, o equilíbrio agronómico, a atenção a diferentes sistemas produtivos, o ciclo de vida da planta, sua adaptação territorial e o impacto sócio-ambiental de seu desenvolvimento (Ramos *et al*, 2017).

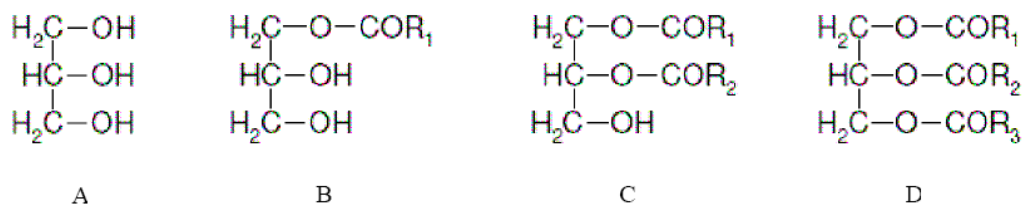
2.6.1 Óleos e Gorduras para fins de geração de energia

Os óleos e gorduras são misturas complexas de triglicerídeos, insolúveis em água (substâncias hidrofóbicas), podendo ser de origem animal, vegetal ou microbiana (Ramos *et al*, 2017).

As diferenças dos óleos e gorduras estão nos tipos e distribuições dos ácidos gordos combinados com o glicerol (Tapanes *et al*, 2013).

Os triglicerídeos são ésteres formados por um tri-álcool, o glicerol e três moléculas de ácidos gordos (Filho, 2010).

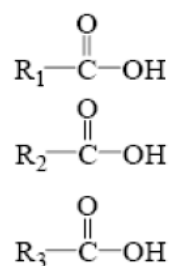
Figura 2: Representação das moléculas de: (A) glicerol, (B) monoglicérideo, (C) diglicérideo e (D), triglicérideo.



Fonte: Maurício, 2008

Os ácidos gordos são ácidos orgânicos lineares que diferem pelo número de carbonos e também pela presença de insaturações (ligações duplas entre os átomos de carbono) em sua cadeia hidrofóbica. São encontrados na natureza na forma não associada, sendo conhecidos como ácidos gordos livres (Ramos *et al*, 2017).

Figura 3: Representação da molécula de ácido gordo.



Fonte: Maurício, 2008

Cerca de 90% dos óleos vegetais produzidos no mundo são formados por triglicerídeos de ácidos gordos de cadeia longa, tendo como principais componentes os ácidos palmítico, esteárico, oleico e linôleico (Filho, 2010).

Tabela 4: Composição química em ácidos gordos de alguns tipos de óleos vegetal.

Ácidos Gordos		Óleos Vegetais								
		Soja	Milho	Algodão	Uva	Oliva	Amendoim	Palma	Cacau	Girassol
C12:0	Láurico	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
C14:0	Mirístico	0,2	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1	0,1
C16:0	Palmítico	11,0	13,0	27,3	7,0	10,2	12,5	43,7	0,1	5,5
C16:1	Palmitoléico	0,2	0,0	0,8	0,1	0,7	0,0	0,1	0,3	0,1
C17:0	Heptadecanóico	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
C18:0	Esteárico	4,2	2,5	2,0	3,0	2,5	2,5	4,5	44,6	4,7
C18:1	Óleico	21,8	30,5	18,3	22,1	78,1	37,9	39,8	48,1	19,5
C18:2	Linóleico	53,3	52,1	50,5	67,2	7,1	41,3	10,5	4,9	68,5
C18:3	Linolênico	7,5	1,0	0,0	0,5	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
C20:0	Araquídico	0,3	0,5	0,3	0,1	0,5	0,5	0,2	1,5	0,3
C20:1	Gadolêico	0,2	0,2	0,0	0,0	0,3	0,7	0,0	0,1	0,1

C22:0	Behênico	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,1	0,9
C22:1	Erúcico	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
C24:0	Lignocênico	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,2

Fonte: Ramos *et al*, 2011

2.6.1.1 Óleos e Gorduras comestíveis *versus* Óleos e gorduras não comestíveis

Os óleos e gorduras animais e vegetais mais utilizados para produção do biodiesel são: óleo de soja, óleo de palma, banha de porco, óleo da mamona e óleo de sementes de linhaça, gorduras e óleos residuais ou usados, as microalgas e as matérias gordas de esgoto (Dermibas, 2008).

Os óleos e gorduras apresentam vantagens como combustíveis em relação ao diesel, tais como: ser líquido natural, ser renovável, possuir alto teor energético, possuir baixo teor em enxofre e compostos aromáticos e ser biodegradável (Santos *et al*, 2015). No entanto, nem todas estas matérias-primas são utilizadas para obtenção do biodiesel com as especificações desejadas, sendo que algumas delas apresentam propriedades impróprias que são transferidas para o biocombustível, nomeadamente a mamona (239mm²/s) que pode provocar o entupimento dos filtros de óleo, problemas no sistema de injeção dos motores, depósito de carbono nos injetores do motor, gelificação do óleo lubrificante do motor, combustão incompleta, entre outros (Dermibas, 2008; Ramos *et al*, 2011; Santos *et al*, 2015).

Por outro lado, a soja é a oleaginosa mais utilizada em escala industrial, mesmo com algumas desvantagens enfrentadas pelas usinas de biodiesel para com esta matéria-prima (Tapanes *et al*, 2013). A soja apresenta uma capacidade de armazenamento de óleo baixa quando comparada com outras oleaginosas. Entretanto sua disponibilidade e cultivo em grande escala, a considera como principal fonte de óleo para produção do biodiesel (Ramos *et al*, 2017). Para além disso, a soja apresenta uma composição em ácidos gordos com, ácido linoléico (55,3%), ácido oleico (23,6%), ácido palmítico (12,7%), ácido linolênico (4,5%) e esteárico (3,9%), que facilita a velocidade da reação (Beltrão *et al*, 2008)

Embora esses óleos têm-se apresentado com grande potencial para produção de biodiesel entram em controvérsia com o abastecimento alimentício sendo algumas vezes referida como “ um crime contra humanidade” e que os biocombustíveis em geral seriam a maior razão por detrás dos aumentos dos preços no mercado alimentício e diminuição dos estoques de abastecimento (Talatabei *et al*, 2015).

Neste sentido, os cientistas acreditam que pode-se contornar este problema através da produção de biodiesel utilizando como matéria-prima óleos de sementes não comestíveis e óleos alimentares usados (Talatabei *et al*, 2015).

Produção de biodiesel através de óleos e gorduras não comestíveis. Tais como: pinhão-manso (*Jatropha curcas*), jojoba, mato de leite, árvore de semente de borracha, árvore de algodão de seda, óleo de rícino, etc (Dermibas, 2008).

Os óleos não comestíveis estão facilmente disponíveis nos países em desenvolvimento e são mais económicos se comparados aos óleos comestíveis. As principais fontes para produção de biodiesel a partir de óleos não comestíveis é a espécie *Jatropha curcas* possuindo alto teor em óleo (25 á 30%), sendo a principal fonte de produção de biodiesel da Índia e Sudeste da Ásia (Dermibas, 2008).

O uso de óleos não comestíveis tais como *jatropha curcas* e óleo de castor evitam uma competição direta com os alimentos, mas entretanto não resolve o problema totalmente, por requerer largas áreas de plantação podendo levar a deflorestação ou desertificação (Mazubert *et al*, 2013).

2.6.2 Óleos alimentares usados (OAU's)

Os óleos alimentares usados também podem ser utilizados como matéria-prima para produção de biodiesel.

Os óleos e gorduras usados são uma alternativa para o problema de equilíbrio entre a produção de alimentos e energia e, são economicamente mais competitivos para a produção de biodiesel em relação a combustíveis fósseis (Suarez *et al*, 2013).

De acordo com Dobarganes *et al* (1991), o consumo dos alimentos fritos tende a aumentar cada vez mais devido a razões sociais, económicas e técnicas, pois, a cada dia que passa as pessoas dispõem de menos tempo para preparação de alimentos recorrendo

a fritura como uma alternativa da sua preparação rápida aumentando assim a quantidade de óleo residual gerada.

Os óleos e gorduras quando são utilizados repetidamente em frituras sofrem degradação por reações hidrolíticas² e oxidativas³ alterando as características físico-químicas e organoléticas do óleo (Mangesh *et al*, 2006). Características como a cor, viscosidade, acidez e odor. Estas alterações tornam os óleos com propriedades anti nutritivas fazendo com que sejam impróprias à saúde humana (Costa *et al*, 2000). Um exemplo do aumento da acidez dos óleos usados é o do óleo de soja que aumenta de 0,04% para 1,51%, quando é aquecido a 190 °C por 70h. Este processo de aquecimento não é benéfico para o processo de transesterificação devido à reação de saponificação (Savaliya *et al*, 2013).

Apesar de expostos a alguns agentes que provocam a degradação de sua estrutura química, os óleos e gorduras usados provenientes de processos de fritura também são constituídos predominantemente por ácidos gordos e triglicerídeos que podem ser convertidos em biodiesel (Santos *et al*, 2015).

O seu uso como matéria-prima traz aspectos positivos sob o ponto de vista ambiental e económico porque está-se a aproveitar um resíduo que é constantemente descartado diretamente nos esgotos e sistemas aquáticos sem qualquer tipo de tratamento, que leva à contaminação da água. Quando lançados ao meio ambiente formam barreiras de troca de oxigénio entre o ar e a água na superfície de lagos e rios, sendo que alguns dos seus constituintes consomem o oxigénio da água que por consequência forma pântanos, prejudicando campos de cultivo por tornarem os solos impermeáveis. Contribui para enchentes em tempos de chuva, como também ruptura e entupimento de canos de esgoto, contaminação dos filtros das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's) e a morte da fauna e da flora nas zonas contaminadas (Monte *et al*, 2015).

²processo pelo qual os alimentos tendem a perder parte da água por meio de evaporação. Parte da água perdida dissolve-se no óleo levando a hidrólise dos triglicerídeos, com consequente decomposição destes em ácidos gordos e glicerol, promovendo o aumento da acidez (Mangesh *et al*, 2006).

³A temperaturas elevadas e na presença de luz, o oxigénio do ar dissolvido no óleo reage sobretudo com os ácidos gordos insaturados levando à formação de vários produtos de oxidação, entre os quais os hidroperóxidos, que por sua vez são oxidados a álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres e outros hidrocarbonetos. A maioria dos produtos de oxidação permanecem no óleo, aumentando a sua viscosidade, sendo que, alguns deles originam compostos polares voláteis, que se libertam para a atmosfera (Mangesh *et al*, 2006).

A valorização energética dos óleos alimentares usados não só apresenta vantagens como também limitações como fonte de matéria-prima (tabela 5).

Tabela 5: Vantagens e limitações do uso de óleo alimentar usado para produção de biodiesel.

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de óleos alimentares usados para a produção de biodiesel é uma alternativa ecológica à sua eliminação, pois permite recuperar um resíduo que não tinha um destino final adequado; 	<ul style="list-style-type: none"> • Características físicas, químicas e organoléticas dos óleos de frituras residuais;
<ul style="list-style-type: none"> • Importante matéria-prima para a produção de um combustível renovável e alternativo ao gasóleo, reduzindo a dependência externa face aos combustíveis fósseis; 	<ul style="list-style-type: none"> • Competição dos óleos alimentares usados com outros usos, ou seja, a possibilidade de incorporação na produção de rações, derivados gordos, lubrificantes, cosméticos entre outros fins;
<ul style="list-style-type: none"> • Resolve problemas provocados pela descarga de óleos nas ETAR's, tais como o entupimento e corrosão de condutas 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de tratamento e disponibilidade.
<ul style="list-style-type: none"> • Reduz a poluição ambiental associada à deposição inadequada de um resíduo alimentar; 	
<ul style="list-style-type: none"> • Reduz da emissão de GEE, como o dióxido de carbono e compostos particulados; 	
<ul style="list-style-type: none"> • Criação de postos de trabalho para a recolha do óleo e no processo de produção de biodiesel. 	

Fonte: Quercus, 2003

O uso de óleos alimentares usados como matéria-prima para o processo convencional (transesterificação) é considerado inviável devido a sua elevada quantidade em ácidos gordos livres e sua humidade que leva a necessidade de realizar pré-tratamento dos óleos, adicionando mais custos à produção. Contudo, o seu uso para produção de

biodiesel via hidroesterificação é viável, uma vez que a água é reagente do processo e os ácidos gordos são produtos da primeira etapa da reação (Santos *et al*, 2015).

2.6.3 Microalgas

Outra matéria-prima que vem se mostrando com grande potencial para produção do biodiesel são as microalgas.

Microalgas são organismos unicelulares ou coloniais fotossintéticos que estão naturalmente presentes em diferentes ambientes aquáticos e húmidos incluindo rios, lagos, oceanos e solos (Figueiredo *et al*, 2016).

As microalgas necessitam de uma fonte de energia luminosa para o crescimento autotrófico ou um composto orgânico para crescimento heterotrófico, nutrientes, micronutrientes, vitaminas e com pH e temperatura na faixa de tolerância da espécie de microalga cultivada (Franco *et al*, 2013).

Podem ser cultivadas em sistemas abertos ou fechados. Nos sistemas abertos as microalgas são cultivadas em lagoas ou tanques abertos que utilizam a luz solar e o CO₂ da atmosfera, em que as culturas são agitadas por sistemas mecânicos. Este sistema apresenta fácil logística de manutenção mas no entanto requer grandes áreas de cultivo e apresenta um controlo impreciso das culturas. Os sistemas fechados consistem em fotobiorreatores onde se pode controlar todas variáveis necessárias para o crescimento das microalgas. Apresentam altas taxas de crescimento de microalgas, contudo são sistemas custosos e com logísticas de operação e manutenção mais complexos (Fernandez *et al*, 1998; Borowitzka, 1999).

O rendimento de biodiesel por hectares do óleo de microalgas é de cerca de 80% do rendimento dos óleos oriundos de culturas oleaginosas. São de pequena dimensão, apresentam ciclo de vida reduzido, não necessitam de terras férteis e podem ser cultivadas em água doce, salobra ou salgada (Suarez *et al*, 2013; Ramos *et al*, 2017).

Embora as microalgas têm apresentado grande potencial para produção de biodiesel, ainda existe alguns inconvenientes tecnológicos na extração do óleo para produção de biodiesel tais como (Suarez *et al*, 2013):

- Possibilidade de contaminação de cepas de algas ou outros micro-organismos selvagens não produtores de óleos, ou que o produzem em menor quantidade ou com composição indesejada;
- Necessidade em se manter constante os diversos parâmetros de processo, tais como temperatura, pH e concentração dos nutrientes, pois a alteração desses parâmetros pode levar a uma queda acentuada na produção e mesmo a morte total do cultivo;
- Os nutrientes necessários para o crescimento das algas, além do CO₂, são bastante caros;
- O processo de colheita ainda não apresenta tecnologia adequada e disponível para realizar essa operação em larga escala;
- Após isolar as microalgas se deve extrair o óleo, sendo para isso necessário romper a parede celular das mesmas, não sendo possível utilizar os processos industriais usuais de extração;
- O óleo produzido tem alto teor de água e de ácidos gordos livres, o que impede o seu uso direto em processos convencionais (transesterificação alcalina).

Estes aspetos fazem com que o custo de produção de óleo a partir do cultivo de microalgas seja até 20 vezes superior ao custo a partir da soja (Suarez *et al*, 2013).

2.6.3.1 O pré-tratamento dos óleos

Para que melhores resultados sejam obtidos na produção do biodiesel é preciso recorrer a etapa de pré-tratamento de modo que a matéria apresente qualidades necessárias para serem transesterificados, isto é, os óleos devem ser processados com baixo teor de ácidos gordos livres e humidade de forma evitar a formação de produtos saponificados que diminuem eficiência de conversão.

Para que tal seja atingido são realizadas procedimentos tais como (Maurício, 2008):

- A redução dos ácidos gordos livres pode ser executada por neutralização ou por extração por solvente;
- A remoção de gomas dos óleos e gorduras em bruto que contêm, grandes quantidades de fosfatídeos, onde é feita a precipitação das gomas após adição de ácido fosfórico e injeção de vapor de água;

- A filtração do óleo para remoção de pequenas proporções de sólidos existentes em suspensão, inclusive para óleos alimentares usados onde ficam pequenos fragmentos dos alimentos fritos;
- A secagem consiste na utilização de um agente secante, como o sulfato de magnésio anidro ou o sulfato de sódio anidro ou por aquecimento, para remoção da água residual que o óleo pode conter, que leva a ocorrência da reação de saponificação;
- A desodorização permite reduzir a quantidade de cetonas e aldeídos, clarear o óleo através da destruição de carotenoides, reduzir a quantidade de pesticidas, detergentes e metais. Ela consiste numa destilação sob vácuo (2 a 5 mmHg) a 240-270°C, sendo dispendiosa em termos energéticos.

2.6.4 Álcoois utilizados nas reações químicas de produção de biodiesel

Os álcoois usados na reação de transesterificação são o metanol, etanol, butanol, propanol e álcool amílico. O metanol é o álcool mais frequentemente utilizado no processo devido as suas características físicas e químicas (cadeia curta, polaridade) e pelo baixo preço. Contudo o etanol vem sendo alvo de grande popularidade por ser produzido a partir de matéria-prima vegetal renovável e exercer menos efeitos tóxicos que o metanol (Gonçalves *et al*, 2007).

A tabela seguinte demonstra algumas vantagens e limitações associadas aos principais álcoois usados na síntese de ésteres.

Tabela 6: Vantagens e desvantagens associados aos principais álcoois utilizados na produção de biodiesel.

Tipo de álcool	Vantagens	Desvantagens
Metanol	O metanol é mais barato; Mais reativo e utiliza menos álcool que a reação com etanol, apresentando uma reação duas vezes mais rápida que o etanol	A sua principal fonte é não renovável; É mais tóxico e mais volátil que o etanol, e consequentemente apresenta maiores riscos de

	em condições idênticas e consequentemente apresenta menores custos energéticos; Equipamentos apresentam ¼ do volume utilizado na reação etílica;	toxicidade e de incêndio.
Etanol	Produz biodiesel com um maior índice de cetano e maior lubricidade; A sua principal fonte é renovável, o que torna 100% renovável; Gera renda agrícola e mais-valias económicas; É menos tóxico e menos volátil que o metanol, apresenta menor risco de incêndio;	Os seus ésteres apresentam maior afinidade com a glicerina e também possui azeotropia quando misturado com água, o que dificulta o processo de separação, requerendo desidratação, consequentemente, apresenta maiores gastos energéticos e de investimento em equipamento;

Fonte: Bill *et al*, 2006

Pode-se concluir da tabela 5 que o metanol como álcool para produção de biodiesel é mais vantajosa em termos reacionais e apresenta um sistema de produção menos custoso e complexo, embora apresente o inconveniente dos efeitos tóxicos ao ambiente e as pessoas. Em contrapartida temos o etanol como um álcool que pode ser produzido a partir de material renovável e que provoca menos efeitos negativos no meio e nas pessoas, mas que apresenta inconvenientes no meio reacional aumentando o custo e a complexidade dos sistemas de produção.

Segundo Macedo *et al* (2004), a transesterificação etílica é significativamente mais complexa do que a metílica. O metanol apresenta vantagens sobre a rota etílica visto

que apresenta menor teor de água e leva a ésteres com maior rendimento e velocidade de reacção. A comparação entre estes dois alcoois pode ser observada na tabela 7.

Tabela 7: Comparação de desempenho dos álcoois metílico e etílico.

Propriedades	Álcool metílico	Álcool etílico
Conversão (óleo-biodiesel)	97,5%	94,3%
Glicerina total no biodiesel	0,87%	1,40%
Potência no motor comparado ao diesel	2,5% menor	4% menor
Consumo comparado ao diesel	10% maior	12% maior

Fonte: Macedo *et al*, 2004.

2.6.5 Catalisadores

Catalisadores são substâncias capazes de acelerar a velocidade de reacções químicas sem sofrer alterações, ou seja, não são consumidos, mas regeneram-se completamente no final do processo (Dicionário de Língua Portuguesa).

Catalisadores homogéneos são aqueles que se encontram na mesma fase em que os reagentes estão dispersos. Catalisadores heterogéneos são aqueles que se encontram em fases diferentes daquele em que estão os reagentes (Santos *et al*, 2015).

2.6.5.1 Catalisadores homogéneos alcalinos

Em escala industrial de produção de biodiesel são utilizados normalmente os catalisadores homogéneos alcalinos por serem mais baratos, são mais rápidos e mais fáceis de manuseamento em termos de transporte e armazenamento por serem menos corrosivos (Mazubert *et al*, 2013).

Os principais catalisadores alcalinos usados na reacção de transesterificação são o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de sódio (NaOH) (Savalaiya *et al*, 2013).

O uso de hidróxido de sódio como catalisador é mais preferível ao hidróxido de potássio, porque faz menos emulsificação, facilita a separação do glicerol e é menos custoso. Entretanto o hidróxido de potássio apresenta melhor desempenho na conversão dos ésteres (Savaliya *et al*, 2013).

A transesterificação via catálise básica é muito sensível à presença de ácidos gordos livres e água em óleos, que podem levar a formação de sabões (figura 4). A saponificação diminui o rendimento da reação e facilita a formação de emulsificação, com isso causando dificuldades no processo de decantação e purificação de fases. Consequentemente é recomendado que a acidez dos óleos sejam menores que 1mg KOH/g de óleo e a percentagem de água limitada para 0,05 vol%. É de ressaltar que a percentagem de ácidos gordos livres em óleos vegetais virgens é diferente de óleos alimentares usados devido aos processos de cozimento e a presença de água que causam hidrólise dos triglicerídeos aumentando a percentagem de ácidos gordos livres não sendo recomendável o uso de catalisadores alcalinos na transesterificação desses óleos (Mazubert *et al*, 2013).

Figura 3: Reação de saponificação



Fonte: Dib, 2010

2.6.5.2 Catalisadores homogêneos ácidos

Os catalisadores ácidos mais utilizados na produção de biodiesel são o ácido clorídrico (HCl) e ácido sulfúrico (H₂SO₄). Transesterificação em meio ácido proporciona alto rendimento em ésteres alquílicos, mas todavia requer uma alta razão molar álcool/óleo, é lento, necessita de altas temperaturas de reação, dificuldades na separação do catalisador, o tempo de reação é muito longo (mais de 4 horas), é tóxico ao meio ambiente e corrosivo. Contudo, a transesterificação ácida é uma excelente via para produção de biodiesel com matérias-primas com elevada quantidade de ácidos gordos livres (Savaliya *et al*, 2013).

A presença de água no meio reacional, não é desejável pois uma reação secundária pode ocorrer durante a transesterificação, a hidrólise dos triglicerídeo, ou do éster

formado, levando à formação de ácidos carboxílicos, sendo que esta formação reduz o rendimento em ésteres monoalquílicos (Santos *et al*, 2015).

Os catalisadores ácidos são recomendados para matéria-prima com elevado nível de acidez e são geralmente usados para transesterificação em duas etapas. Na primeira etapa, os óleos são reagidos com álcool na presença de catalisadores ácidos, o nível de acidez do óleo é reduzido fazendo com que o óleo reage com metanol na presença de catalisadores básicos. Por este pré-tratamento, o valor de ácidos gordos livres diminui para a faixa de transesterificação alcalina. Geralmente, o valor é reduzido para menos de 1%. Na próxima etapa o óleo é transesterificado de novo usando hidróxido de sódio ou potássio como catalisador (Savaliya *et al*, 2013).

A transesterificação via catalise ácida foi registrada por ser 4000 vezes mais lento que o usando os catalisadores alcalinos (Mazubert *et al*, 2013).

2.6.5.3 Catalisadores heterogêneos

Os catalisadores heterogêneos também são utilizados na síntese de biodiesel, oferecendo vantagens tanto técnicos como ambientais em relação aos homogêneos, pois facilita a purificação dos monoésteres alquílicos, permite reciclagem do catalisador sólido ao longo de sua vida útil, minimiza a geração de efluente e facilita consideravelmente a recuperação e purificação da glicerina (Cordeiro *et al*, 2011).

Os catalisadores heterogêneos mais utilizados na produção de biodiesel são o óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de zinco (ZnO), que são catalisadores básicos e óxido de estanho sulfatado (SnO) que é um catalisador heterogêneo ácido (Cordeiro *et al*, 2011).

Em práticas industriais, os catalisadores heterogêneos são menos utilizados por causa da elevada temperatura requerida, dos problemas relativos a lixiviação do catalisador e sua sensibilidade a presença de ácidos gordos livres e água. Não obstante, recentemente estudos mostraram que um novo catalisador heterogêneo, óxido de estrôncio (SrO) apresenta rápidas taxas de conversão que os heterogêneos típicos (Mazubert *et al*, 2013).

2.6.5.4 Catalisadores enzimáticos

As enzimas mais utilizadas para o processo de produção de biodiesel são as lípases (Pourzolfagharet *al*, 2016).

As lípases são enzimas capazes de hidrolisar as moléculas de triglicerídeos. São aplicadas em diversos processos industriais, dentre eles, a modificação de óleos e gorduras, na indústria têxtil, na indústria alimentícia e de detergentes (Preczeski *et al*, 2017).

A sua utilização possui vantagens tais como a ausência de formação de sabão durante o processo, alta pureza do subproduto glicerina, processo de produção simplificado, baixo consumo de energia, fácil reciclagem da enzima, fácil separação das lípases do produto, a possibilidade de utilização de matérias-primas de baixa qualidade (alta acidez) e produção de glicerina alimentar. Entretanto, baixa taxa de conversão, alto custo das lípases e inibição da atividade das enzimas por usar solventes orgânicos como n-hexano e álcoois de cadeia curta como o etanol, são pontos negativos da utilização das enzimas na síntese de biodiesel. Como resultado da rápida desativação e curta vida útil das enzimas durante repetidas experiências, um conjunto de enzimas são requeridas para produção de biodiesel, aumentando o custo de produção (Pourzolfaghar *et al*, 2016).

O que se pode dizer é que todos os tipos de catalisadores possuem suas virtudes e fraquezas mediante alguns factores que dependem tanto características do catalisador como a natureza dos óleos utilizados no processo.

2.6 O subproduto: Glicerina

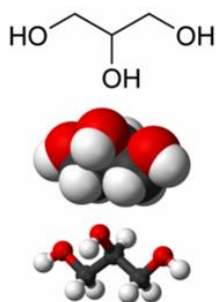
No processo de produção de biodiesel forma-se a glicerina ou glicerol. Para cada 90 m³ de biodiesel produzidos por transesterificação são gerados, aproximadamente, 10 m³ de glicerina (Mota *et al*, 2009).

Os termos glicerina ou glicerol tem como nome oficial dado pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) como 1, 2, 3 – propanotriol e é um composto líquido oleoso, incolor, viscoso e de sabor doce, solúvel em água e álcool, insolúvel em hidrocarbonetos e ainda, inodoro, higroscópico e apresenta risco de explosão, quando em contacto com agentes oxidantes. Seus derivados são de grande aplicação para

diversas indústrias, como à indústria de cosméticos, farmacêutico, higiene pessoal, produção de explosivos e produção de resinas alquídicas (Mendes *et al*, 2012).

Em prol do aumento da produção de biodiesel, surge a necessidade de estudos para novas aplicações do subproduto, glicerina, o qual, se descartado ao meio ambiente, pode ter alto impacto ambiental (Mendes *et al*, 2012).

Figura 4: Representação da molécula de glicerina



Fonte: Maurício, 2008

A glicerina loira é utilizada para designar a glicerina oriunda dos processos de produção do biodiesel, onde a fase glicerínica sofreu um tratamento ácido para neutralização do catalisador e remoção de ácidos gordos eventualmente formados no processo. Esta glicerina contém cerca de 80% de glicerol, além de água, metanol e sais dissolvidos (Mota *et al*, 2012).

Estudos recentes mostraram que a glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel pode ser utilizada como matéria-prima para a produção de hidrogênio por meio da fermentação microbiana. A aplicação desse processo fermentativo possibilita a combinação do aproveitamento energético desse subproduto para a produção de hidrogênio com o tratamento simultâneo dos resíduos (Santos *et al*, 2015).

2.7 Processos de produção de biodiesel

2.7.1 Microemulsões

Microemulsões são definidas como disposições coloidais, termodinamicamente estáveis, opticamente isotrópicas, com microestruturas de tamanho da faixa 1 – 150 nm, que se formam espontaneamente sob a adição de componentes anfifílicos à mistura de líquidos que, de outra forma, seriam quase imiscíveis. Por serem estáveis, não requerem

agitação para permanecer em fase simples ou solução translúcida sob temperatura e pressão constantes, logo podem conter surfactantes (Ma *et al*, 1999).

A microemulsão foi proposta para tentar resolver os problemas associados à alta viscosidade apresentada pelos óleos vegetais (Ma *et al*, 1999).

A diminuição da viscosidade dos óleos vegetais é conseguida a partir da adição de solventes como metanol, etanol e 1-butanol, sendo que, as microemulsões podem melhorar as características de vaporização decorrentes do menor ponto de ebulição devido à formação das micelas. Entretanto, apesar das microemulsões apresentarem boas características para os padrões de atomização do motor, verificou-se que em longo prazo provocam a deposição de carbono no motor, combustão incompleta e o aumento da viscosidade dos óleos lubrificantes (Maurício, 2008).

2.7.2 Craqueamento térmico ou pirólise

O processo de craqueamento consiste na quebra das moléculas do óleo vegetal ou gordura, levando à formação de uma mistura de compostos químicos com propriedades semelhantes às do diesel, gases e gasolina de petróleo, que podem ser usados directamente em motores convencionais. Esta reacção é realizada a altas temperaturas, acima de 450°C, na presença ou ausência de catalisador, portanto, o craqueamento pode ser térmico ou catalítico (Tapanes *et al*, 2013).

A decomposição térmica dos triglicerídeos origina diferentes tipos de compostos, entre eles, os alcanos, os alcenos e os ácidos aromáticos, dependendo da fonte de óleo vegetal decomposto. Os produtos gerados neste processo podem ter outras aplicações, destacando-se a utilização como solvente e como matérias-primas de plástico, o que torna este processo vantajoso. No entanto, apresenta como desvantagem o facto de, durante o processo, ocorrer a formação de compostos oxigenados, os quais tornam o produto levemente ácido (Maurício, 2008).

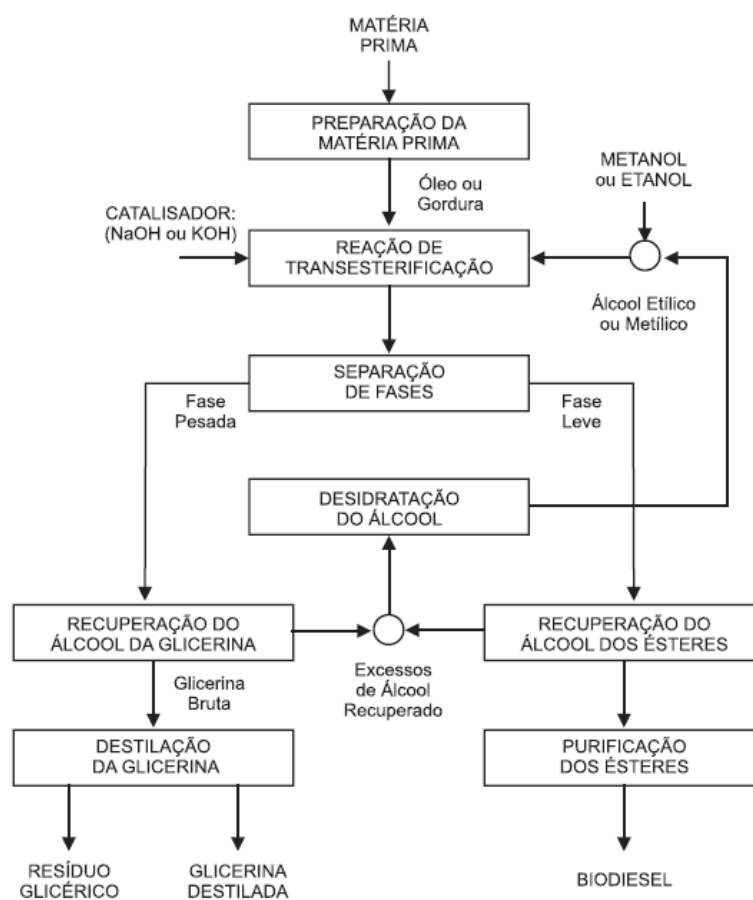
Outras desvantagens que podem ser apontadas associadas a este processo são a formação de compostos oxigenados, os quais tornam o produto ácido, a remoção destes compostos provoca impactes ambientais significativos, gera um combustível mais equivalente à gasolina do que ao óleo diesel, o custo dos equipamentos são elevados e o processo apresenta rendimentos moderados (Santos *et al* 2015).

2.7.3 Transesterificação

A transesterificação é o processo mais utilizado na produção de biodiesel através de óleos vegetais e gorduras (Tapanes *et al*, 2013).

A produção de biodiesel através da transesterificação envolve 6 etapas, sendo elas, a de pré-tratamento da matéria-prima, reação de transesterificação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, purificação dos ésteres e da glicerina (Parente, 2003).

Figura 5: Etapas do processo da transesterificação

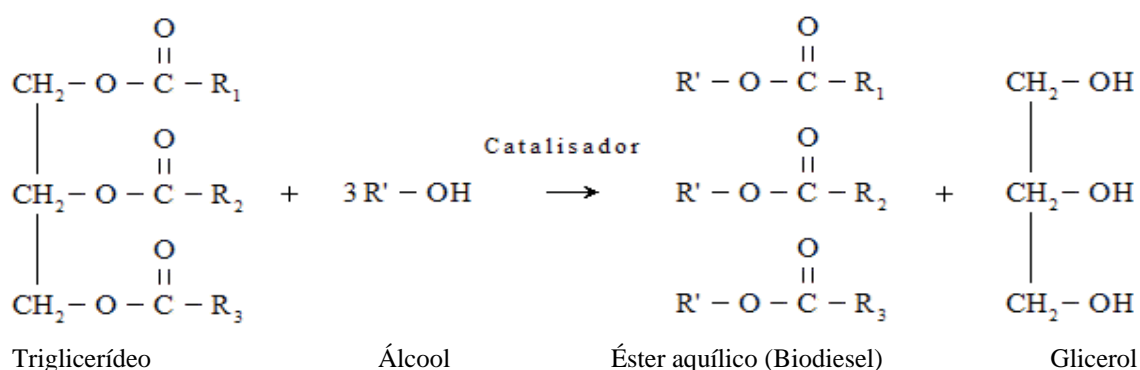


Fonte: Parente, 2003

2.7.3.1 Reação de transesterificação

A transesterificação do biodiesel envolve reações cinéticas complexas, onde uma molécula de triglicerídeo reage com três moléculas de um álcool (metanol/etanol) na presença de um catalisador, resultando na máxima produção de três moléculas metil/etil éster e uma molécula de glicerina. A reação ocorre com a sequência de três etapas de reações reversíveis, onde o triglicerídeo é convertido em diglicerídeo, diglicerídeo para monoglicerídeo e monoglicerídeo para glicerol (Shi *et al*, 2012).

Figura 6: Representação da reação de transesterificação.



Fonte: Dib, 2010

O excesso de álcool ou aumento da razão molar álcool/óleo pode ser utilizado para deslocar o equilíbrio da reação para máximo rendimento de biodiesel e de modo a permitir a formação de uma fase separada da glicerina (Akhiero *et al*, 2013).

A taxa de rendimento e as características do biodiesel produzido dependem de alguns parâmetros do processo. Parâmetros como a quantidade e tipo do óleo e álcool utilizada, tipo e concentração do catalisador usado, temperatura de reação, tempo de reação, quantidade em ácidos gordos livres e conteúdo em humidade da matéria-prima (Savaliya *et al*, 2013).

O excesso de álcool usado na produção de biodiesel beneficia o equilíbrio químico da transesterificação em mover para uma direção positiva e a alta razão molar álcool/óleo pode resultar em uma ótima conversão em ésteres a curto tempo. Em adição, a razão molar esta associada com o tipo de catalisador e a razão molar álcool/óleo é mais

recomendada para 6:1 com o uso do catalisador alcalino. A temperatura influencia a reação e rendimento da produção de biodiesel, sendo que, elevadas temperaturas de reação podem diminuir a viscosidade do óleo e resultar em um decréscimo da taxa de conversão, e uma curta duração da reação. Mas quando a temperatura de reação aumenta consoantes os níveis ótimos, o rendimento da produção de biodiesel diminui por causa da elevada temperatura de reação que acelera a reação de saponificação dos triglicerídeos. Outro ponto a ser acrescentado é que a temperatura de reação necessita ser menor que o ponto de ebulição do álcool utilizado, de modo a garantir que o álcool não vaze através da vaporização. Dependendo do óleo usado, a gama ótima de temperatura está entre 50 e 60°C (Shi *et al*, 2012).

O tempo ou duração de reação é um dos fatores que afeta o rendimento do biodiesel. O início da reação é devagar devido á mistura de dispersão do metanol no óleo, mas depois de um tempo a reação procede muito rápida. O excesso de duração da reação poderá levar a redução do rendimento do produto devido ao retrocesso da reação de transesterificação resultando em uma perda de éster, causando mais ácidos gordos favorecendo a formação de sabões. O rendimento atinge o máximo em 90 min e depois permanece relativamente constante com um adicional crescimento na duração de reação (Shi *et al*, 2012).

O catalisador também tem um papel importante sendo que sua concentração pode afectar o rendimento do biodiesel. A medida que a concentração do catalisador aumenta, a conversão dos triglicerídeos e o rendimento da conversão aumentam. O rendimento atinge o seu valor otimizado quando a concentração do catalisador atingir 1,5wt% e depois diminui um pouco com um adicional crescimento da concentração do catalisador (Shi *et al*, 2012).

Ainda é importante referir que a transesterificação é limitada por transferência de massa resultante da duração da reação na ordem de algumas horas para desejável conversão (acima de 96,5%). Isto acontece devido a imiscibilidade dos triglicerídeos e metanol no início da reação e depois por causa da fase de separação da glicerina. Entretanto, a imiscibilidade inicial entre os reagentes desaparece rapidamente devido a formação dos diglicerídeos e monoglicerídeos, que tem um papel importante como emulsificador. Com o aparecimento dos mono e diglicerídeos, o tamanho das gotículas da fase dispersa diminui, mas depois aumenta com a formação da glicerina (Mazubert *et al*, 2013).

A transesterificação por catálise alcalina é o processo mais utilizado a escala industrial, sendo a reação mais rápida e realizada a condições moderadas de temperatura e ambiente. O processo de obtenção do biodiesel com catálise alcalina é uma transesterificação na qual os ésteres são triglicerídeos e o nucleófilo é um alcóxido (Ramos *et al*, 2011).

Na transesterificação alcalina os íons hidróxido com o álcool gera alcóxido e água, e esta hidrolisa ésteres gordos, diminuindo assim o rendimento da alcoólise. Os íons alcóxidos produzidos, fazem um ataque nucleófilo no carbono da carbonila do triglicerídeo, levando a formação de um intermediário tetraédrico. Este intermediário elimina uma molécula de éster metílico e forma outro íon alcóxido que irá dar origem a um diglicerídeo. Repetindo esse processo por mais dois ciclos tem-se a formação de mais duas moléculas de ésteres metílico formando-se uma molécula de glicerol. A transesterificação em meio alcalino é sensível á presença de ácidos gordos livres pois reagem com o catalisador básico , formando sabões, que diminuem o rendimento do processo (Ramos *et al*, 2011).

Ultimamente vem se utilizado o método da transesterificação com metanol supercrítico, que consiste num processo onde o óleo é transesterificado a altas temperaturas (350°C) e pressões (30MPa), mostrando-se ser um processo eficiente, com rendimentos superiores a 95% em apenas alguns minutos. A eficiência do processo depende da relação entre temperatura, pressão e propriedades termofísicas (Maurício, 2008).

Este processo apresenta vantagens como a ausência de catalisador no processo, não há formação de produtos da saponificação e não é sensível a presença de ácidos gordos livres (Dermibas, 2006).

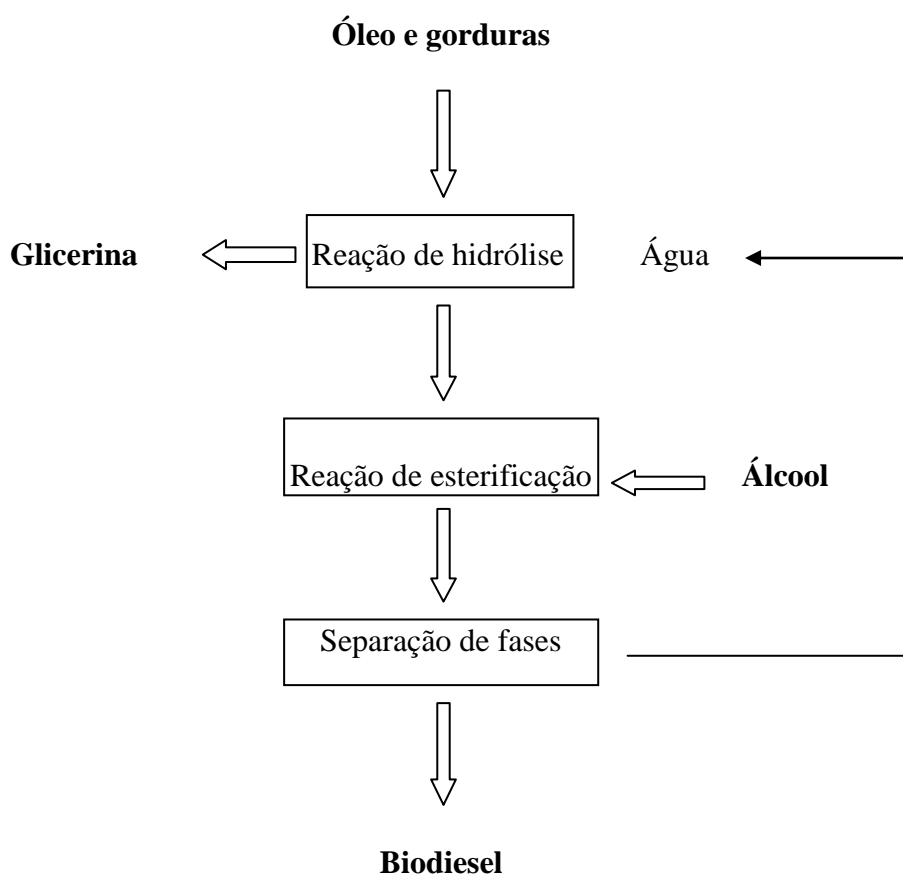
2.7.4 Hidroesterificação

A hidroesterificação é um processo que permite viabilizar a produção do biodiesel com mais competitividade económica, pelo que pode-se utilizar matérias-primas de baixa qualidade, com baixo custo, sendo que o preço da matéria-prima corresponde a cerca de 70-88% do custo total de produção do biodiesel (Tabatabaei *et al*, 2015).

O processo de hidroesterificação permite o uso de matérias-primas com alto índice de acidez e humidade como os óleos alimentares usados e matérias gordas de matadouro e esgoto (Santos et al, 2015).

A hidroesterificação é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de uma esterificação (figura 7) (Tapanes *et al*, 2013).

Figura 7: Fluxograma simplificado do processo de hidroesterificação.

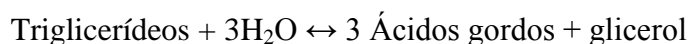


Fonte: Elaboração própria

A hidrólise consiste numa reação química entre os triglicerídeos do óleo com a água, produzindo ácidos gordos livres e glicerol, podendo ser realizada com o uso de catalisadores homogêneos, heterogêneos, enzimáticos ou em estado subcrítico da água (temperatura de 250°C - 349°C) e supercrítica (temperatura superiores a 350°C) (Santos *et al*, 2015).

A reação de hidrólise é afetada por parâmetros como: a temperatura, o tipo de catalisador utilizado, teor em água no meio reacional e concentração de glicerol na fase aquosa (Dieckelman *et al*, 1988).

Figura 8: Esquema de reação de hidrólise



Fonte: Elaboração própria

A reação de hidrólise é um processo endotérmico que acontece por etapas. Primeiramente os triglicerídeos são convertidos para di e monoglicerídeos e depois são convertidos em glicerol e ácidos gordos livres (Santos *et al*, 2015). Sendo o processo endotérmico é favorecido pelo aumento da temperatura, sendo que, o aumento da temperatura melhora a miscibilidade da água e os triglicerídeos que consequentemente aumenta taxa de conversão de ácidos gordos (Ramos *et al*, 2011).

Após a hidrólise, a glicerina é removida e os ácidos gordos livres formados serão esterificados na próxima etapa (Santos *et al*, 2015).

A esterificação de ácidos gordos é de grande importância para a produção de biodiesel pois é uma rota tecnológica onde se pode utilizar matérias-primas com alta acidez (Ramos *et al*, 2011).

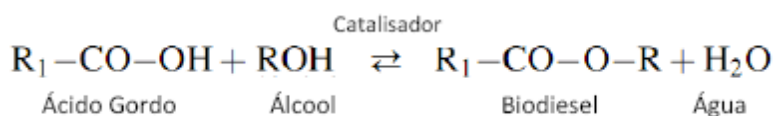
O processo de esterificação para produção de biodiesel pode ser realizada na presença de metanol ou etanol e de um catalisador ácido. A reação de hidroesterificação é reversível, sendo que, o catalisador ácido pode ser utilizado tanto na hidrólise do éster como na esterificação (Oliveira *et al*, 2008).

A reação de esterificação pode ser influenciada por parâmetros como: teor em ácidos gordos livres e água, temperatura reacional, razão molar álcool/ácido gordo e tipo e concentração de catalisador (Aranda *et al*, 2008).

O mecanismo da esterificação acontece através da protonação do grupo carbonila do catalisador ácido utilizado, que leva a formação de um carbonó-catião, que posteriormente sofre um ataque nucleófilo do álcool, produzindo um intermediário

tetraédrico que, por sua vez, elimina água e leva a formação do éster e a regeneração do catalisador (Ramos *et al*, 2011).

Figura 9: Reação de esterificação



Fonte: Maurício, 2008

É relevante ressaltar que a cinética de esterificação ácida é melhor que a cinética de transesterificação ácida, sendo que os ácidos gordos livres presentes no óleo é rapidamente convertidos em ésteres metílicos ou etílicos (Ramos *et al*, 2011).

Não existe contacto entre o biodiesel produzido na esterificação e a glicerina produzida na hidrólise, pelo que não existe contaminação do biodiesel com resíduos de glicerina, não sendo necessário uma etapa de separação, resultando em um biodiesel com elevada pureza e glicerina límpida (Santos *et al*, 2015).

O processo de hidroesterificação permite o uso de qualquer matéria gorda, independentemente da sua acidez e humidade, sendo este entre outros o grande diferencial e vantagem quando comparado ao processo convencional de transesterificação (Tapanes *et al*, 2013).

Tabela 8: Vantagens da hidroesterificação em relação a transesterificação.

Hidroesterificação	Transesterificação
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de qualquer tipo de matéria-prima gorda, com qualquer acidez e humidade (custo mais baixo); 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de matérias-primas refinada, com acidez menor a 3% (custo mais alto);
<ul style="list-style-type: none"> • Maior velocidade de reação, capacidade produtiva maior; 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor velocidade de reação, capacidade produtiva menor;

<ul style="list-style-type: none"> • Na esterificação apenas água é gerada como subproduto, sendo ainda totalmente reaproveitada; 	<ul style="list-style-type: none"> • Gera sabões, o que afeta o rendimento da produção e dificulta a separação biodiesel/glicerol;
<ul style="list-style-type: none"> • Maior pureza do biodiesel obtido, sem a necessidade de lavagem, requerendo apenas secagem; 	<ul style="list-style-type: none"> • O biodiesel contém contaminantes (sabões) e requer purificação (etapa de lavagem e secagem);
<ul style="list-style-type: none"> • Alta pureza do glicerol obtido, reduzindo custo de purificação; 	<ul style="list-style-type: none"> • Glicerol contém contaminantes (sabões, sais, álcool, resíduos graxos) que são de difícil separação, alto custo no processo;
<ul style="list-style-type: none"> • O glicerol obtido pode ser adiciona <i>in natura</i> em farelos ou rações; 	<ul style="list-style-type: none"> • O glicerol obtido no processo não pode ser adicionado em farelos ou rações (contaminação com álcool e sais);
<ul style="list-style-type: none"> • Custo operacional 50% menor, permitindo retorno do capital em tempo menor, e justificando o investimento inicial maior; 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo de produção;
<ul style="list-style-type: none"> • Não requer tratamento de efluentes, pois não tem resíduos líquidos e sólidos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer tratamento de efluentes;
<ul style="list-style-type: none"> • Grande simplicidade de operação (poucos operadores); 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer grande quantidade de operadores;
<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade para ampliação da capacidade da unidade produtiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca disponibilidade para ampliação da capacidade produtiva.

Fonte: Santos *et al*, 2015

A hidroesterificação possui as desvantagens de requerer alto investimento inicial, visto que em sistemas com hidrólise não catalítica são necessárias elevadas temperaturas e

pressões, sendo necessário equipamentos especializados e na hidrólise enzimática é necessário controlo de pH e tempo de reações prolongadas (Santos *et al*, 2015).

2.7.5 Transesterificação em duas etapas

O processo de transesterificação em duas etapas envolve uma esterificação via catálise ácida e uma transesterificação via catálise básica. A primeira etapa deste processo consiste numa esterificação ácida como pré-tratamento para remover os ácidos gordos livres no óleo. A segunda etapa consiste numa transesterificação alcalina convencional (Awolu *et al*, 2013).

Não é necessário matérias-primas com baixo nível de acidez para esse processo, pois não há formação de sabões ou problemas de emulsificação, sendo que os ácidos gordos livres são esterificados na primeira etapa, não havendo qualquer contacto com a transesterificação alcalina. Entretanto, apresenta as desvantagens de necessitar um pré-tratamento da matéria-prima para eliminar a humidade, e o uso de excesso de metanol, sendo necessárias etapas de purificação do éster ao final das reações (Santos *et al*, 2015).

2.8 Impactes associado ao uso de biodiesel

2.8.1 Impactes ambientais

Para uma avaliação mais precisa dos benefícios ambientais do biodiesel, é necessário levar em conta todo o seu ciclo de vida, envolvendo a produção de sementes, fertilizantes, preparo do solo, plantação, processo produtivo, colheita, armazenamento, transporte e consumo desse combustível renovável. Em relação ao efeito estufa, deve-se avaliar a quantidade de gases emitida em todas as fases desse ciclo e deduzi-la do volume capturado na fotossíntese da biomassa que lhe serve de matéria-prima (Gonçalves *et al*, 2007).

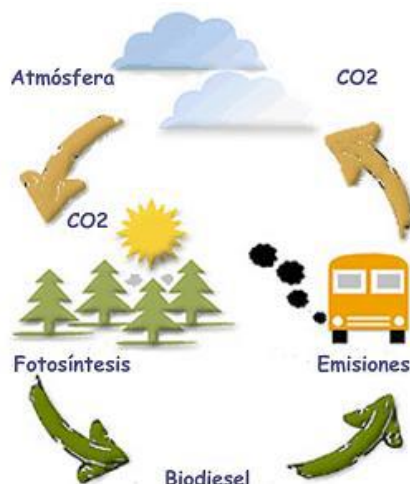
A combustão de biodiesel proporciona a emissão de gases com efeito de estufa, tal como o dióxido de carbono, entretanto a quantidade libertada é equivalente à quantidade que é consumida durante o processo de fotossíntese das plantas. Por conseguinte, as fontes de biomassa são consideradas neutras, relativamente aos danos climáticos derivados do efeito estufa (reduz o aquecimento global). Representando, simultaneamente, um auxílio para o cumprimento do Protocolo de Quioto e uma

vantagem ambiental, pois permite a utilização dos créditos de carbono vinculados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (Maurício, 2008).

É de referir que caso os óleos alimentares usados quando não utilizados para o fabrico de biodiesel, são jogados no meio ambiente irão degradar-se naturalmente e dar origem à libertação de CO₂ (Gonçalves *et al*, 2007).

Liberta menos compostos poluentes comparado aos combustíveis fósseis, como por exemplo 1TEP (Tonelada equivalente de Petróleo) de gasolina provoca a emissão de 3,4 ton de CO₂, enquanto que, 1 TE de éster provoca a emissão de 1,7 ton de CO₂ (Gonçalves *et al*, 2007).

Figura 10: Ciclo de carbono na produção do biodiesel



Fonte: Maurício, 2008

Embora a produção de biodiesel apresente vários aspectos positivos, possui alguns pontos negativos associadas ao biodiesel, sendo uma delas o aumento nas emissões de aldeídos e de NO_x (óxidos nítricos) (Costa *et al*, 2000), como também o aumento da emissão de acroleína (substância muito tóxica, que se forma pela decomposição química do glicerol), a produção intensiva da matéria-prima de origem vegetal leva a um esgotamento das capacidades do solo, o que pode ocasionar a destruição da biodiversidade, pode não existir mercado para a quantidade de glicerina obtida como subproduto, sendo mais um resíduo que se produz (Quercus, 2002).

2.8.2 Impactes técnicos

Os impactes técnicos positivos associados ao biodiesel são a melhoria no desempenho da ignição devido ao elevado número de cetano, aumento na vida útil dos motores devido á sua capacidade lubrificante superior ao gasóleo e maior poder dissolvente, que evita a acumulação de resíduos, não obstruindo as tubagens e mantendo o interior do motor limpo (Knothe, 2008).

Por outro lado, o biodiesel promove a corrosão de componentes de borracha do veículo e ocasiona dissolução da pintura do veículo e do asfalto e substituição dos filtros no veículo, antes do tempo normal para os outros combustíveis (Maurício, 2008).

2.8.3 Impactes socioeconómicos

A produção do biodiesel a partir de óleos alimentares usados é uma solução a frequente preocupação social quanto aos combustíveis produzidos a partir de óleos vegetais comestíveis, no que consta a diminuição de estoques de abastecimento alimentício e terrenos para sua plantação (Talabatabei *et al*, 2015). Além disso, leva a uma consciencialização da sociedade quanto ao descarte incorreto desse resíduo (Monte *et al*, 2015).

A produção a partir de óleos alimentares usados em centros urbanos pode incentivar a formação de cooperativas para o recolhimento desses óleos, promovendo a geração de oportunidades de trabalhos (Santos *et al*, 2015).

A utilização do biodiesel reduz o custo de operação dos veículos, diminuição da dependência de combustíveis importados com conseqüente melhoria na qualidade de vida da população, possibilita uma diminuição no pagamento das taxas de emissão de CO₂ ou negociação nas taxas de carbono (Oliveira *et al*, 2008) e proporciona uma redução dos custos operacionais das ETAR's (Monte *et al*, 2015).

III. CASO DE ESTUDO

Para realização deste trabalho foi utilizada a ilha de São Vicente como caso de estudo para elaboração de um inquérito de modo a avaliar a viabilidade de produção de biodiesel através de óleos alimentares usados. Como também procedeu-se a produção de biodiesel em escala laboratorial para analisar as hipóteses de produção do biodiesel via processo de hidroesterificação e a transesterificação em duas etapas para posterior discussão dos resultados.

3.1 Apresentação do caso de estudo: Produção de biodiesel através de óleos alimentares usados produzidos na ilha de São Vicente.

A ilha de São Vicente é a segunda ilha do arquipélago, situada a Noroeste deste, pertencente ao grupo de Barlavento. Possui as seguintes coordenadas geográficas 16°36'N e 16°55'N, 24°34'W e 25°04'W e área geométrica territorial de 227 Km². Conta com uma população pouco abaixo das 82 mil pessoas, com predominância do sexo masculino, de 50,7% do total de habitantes. 26,8 % desses habitantes são considerados pobres (Ferreira, 2008).

Figura 11: Ilha de São Vicente



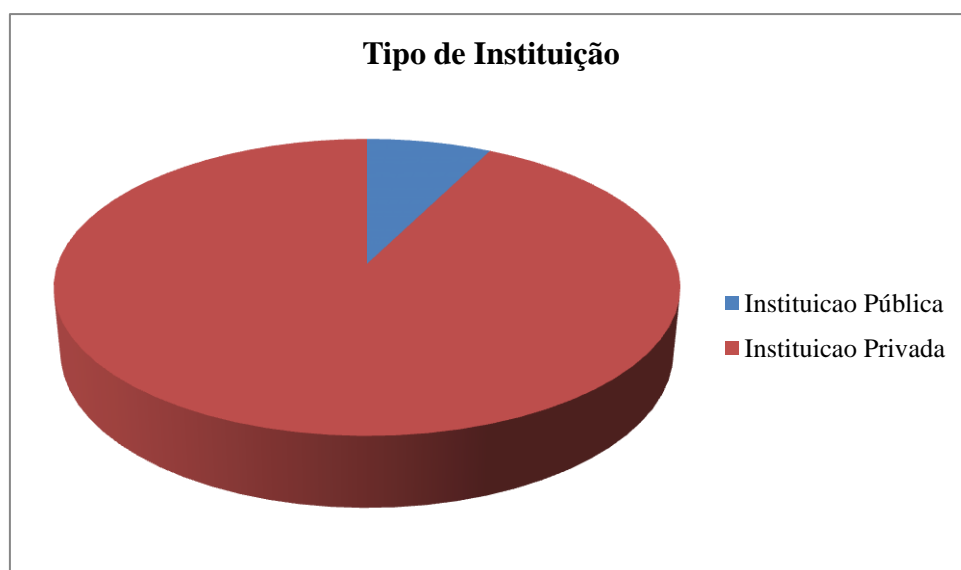
Fonte: caboverdesite.com

3.1.1 Apresentação dos dados recolhidos no inquérito

Como complemento a este estudo realizou-se um inquérito para estimar a quantidade de óleos alimentares usados mensalmente nos estabelecimentos hoteleiros e de restauração em São Vicente.

Foi utilizada uma amostra de 40 casos incluindo instituições privadas e públicas, sendo a amostra maioritariamente de instituições privadas (Figura 12).

Figura 12: Gráfico da representatividade do tipo de instituição na amostra.



Fonte: Elaboração própria

A amostra apresenta um total de 92,5% de casos de instituições privadas e 7,5% de casos de instituições públicas.

Segundo a amostra, a tipologia de óleos e gorduras alimentares usados utilizadas na totalidade na ilha de São Vicente são os óleos vegetais (Figura 13).

Figura 13: Gráfico da representatividade do tipo de óleo utilizado nos estabelecimentos.



Fonte: Elaboração própria

A quantidade de óleo consumido mensalmente pelos estabelecimentos hoteleiros e de restauração da ilha é de 3090L ou 3 ton/mês. Este valor exceptua 2 casos que não souberam estimar a quantidade consumida mensalmente

A quantidade de óleo consumido mensalmente por estas instalações foi dividida por categorias como mostra a tabela 9.

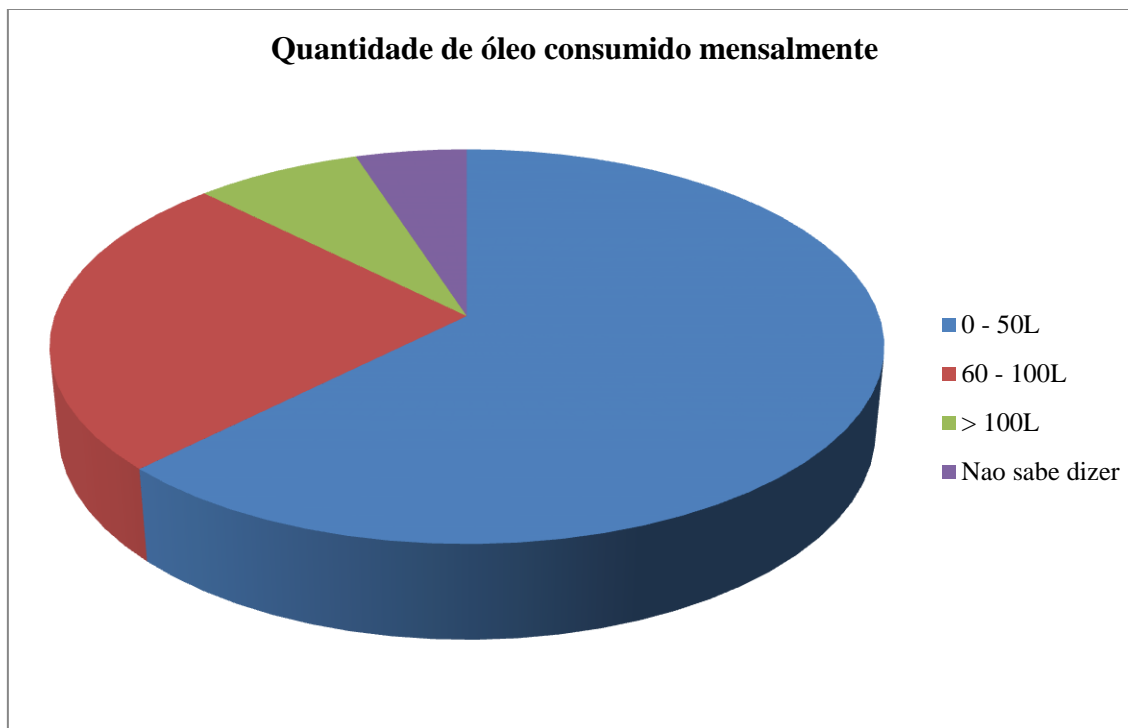
Tabela 9: Divisão por categorias do consumo de óleo nos estabelecimentos.

Quantidade de óleo consumido mensalmente	Frequência	Percentagem
0-50L	25	62,5%
60-100L	10	25,0%
>100L	3	7,5%

Não sabe dizer	2	5,0%
Total	40	100,0%

Fonte: Elaboração própria

Figura 14: Gráfico da representatividade da quantidade de óleo consumida mensalmente.



Fonte: Elaboração própria

A frequência do uso do óleo é um factor importante na produção de biodiesel usando óleos alimentares usados pois a cada novo processamento por imersão do óleo, ele vai perdendo suas características e perdendo qualidade.

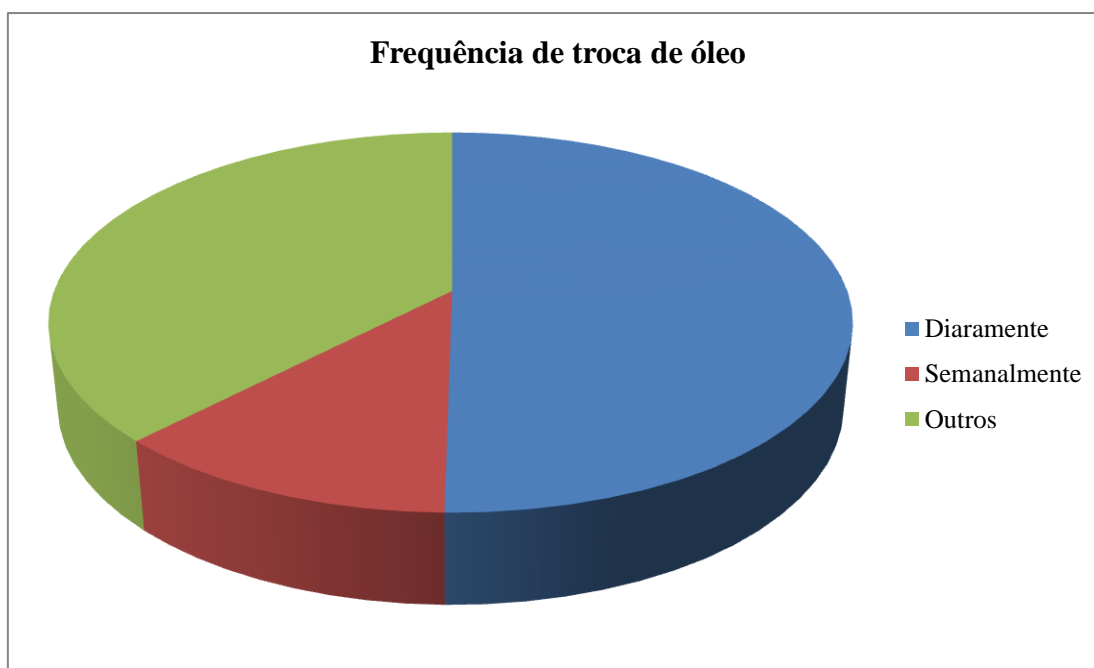
A tabela seguinte demonstra a frequência da troca do óleo segundo as categorias estabelecidas.

Tabela 10: Frequência da troca dos óleos.

Frequência da troca do óleo	Frequência	Porcentagem
Diariamente	20	50,0%
Semanalmente	5	12,5%
Outros	15	37,5%
Total	40	100,0%

Fonte: Elaboração própria

Figura 15: Gráfico da representatividade da troca de óleo por categorias.



Fonte: Elaboração própria

O descarte dos óleos usados é um aspecto ambiental muito importante a ter em conta. O descarte errado desses resíduos pode levar a graves problemas ambientais, apontando a poluição da água como uma delas. Os óleos alimentares devem ser usados uma única vez para o processamento de alimentos, ou contrário causam inconvenientes à saúde.

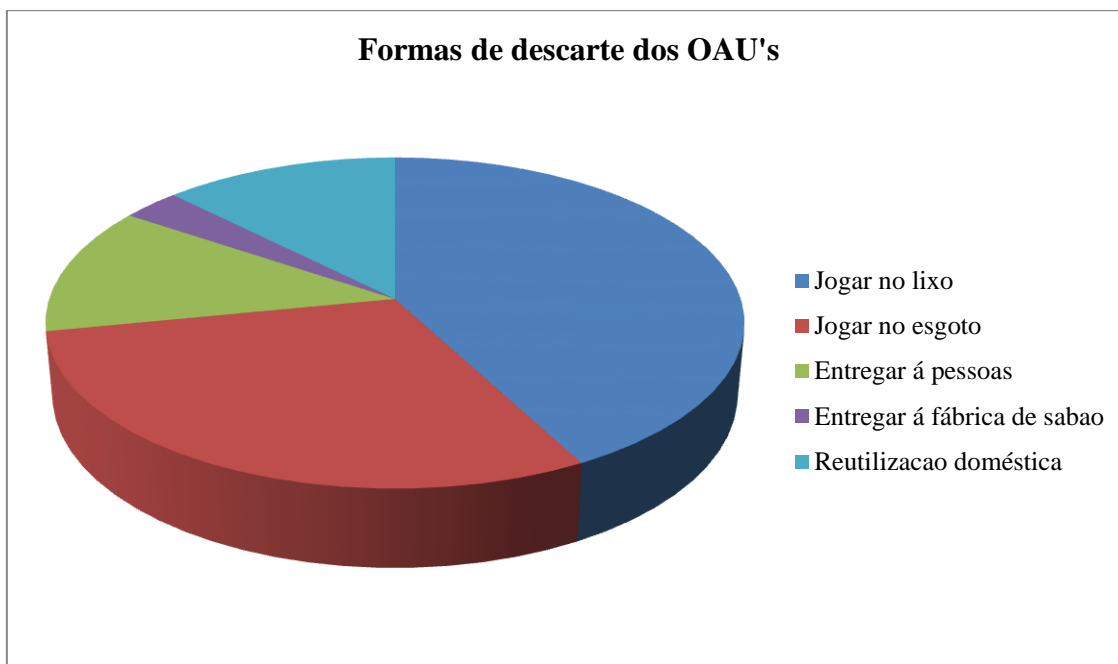
Neste questionário, foi elaborada uma questão para melhor se saber o destino de descarte desses óleos (Tabela 11).

Tabela 11: Representatividade das formas de descarte de óleos de alimentares usados.

Formas de descarte dos óleos alimentares usados	Respostas		Percentagem de casos
	Número	Percentagem	
Jogar no lixo	27	42,2%	67,5%
Jogar no esgoto	19	29,7%	47,5%
Entregar á pessoas	8	12,5%	20,0%
Entregar á fábrica de sabão	2	3,1%	5,0%
Reutilização Doméstica	8	12,5%	20,0%
Total	64	100,0%	160,0%

Fonte: Elaboração própria

Figura 16: Gráfico da representatividade das formas de descarte de óleos alimentares usados.



Fonte: Elaboração própria

De acordo com os dados da tabela 11 e figura 16 podemos concluir que os óleos alimentares usados, não tem um descarte adequado, quer em termos ambientais, quer em termos da saúde pública.

As formas de descarte mais recorridas pelos estabelecimentos de hotelaria e restauração em São Vicente são o descarte pelo lixo (42,2%) e pela rede de esgoto (29,7%).

Quanto à questão sobre o conhecimento das formas de descarte destes resíduos, os resultados encontram-se descritos na tabela 12.

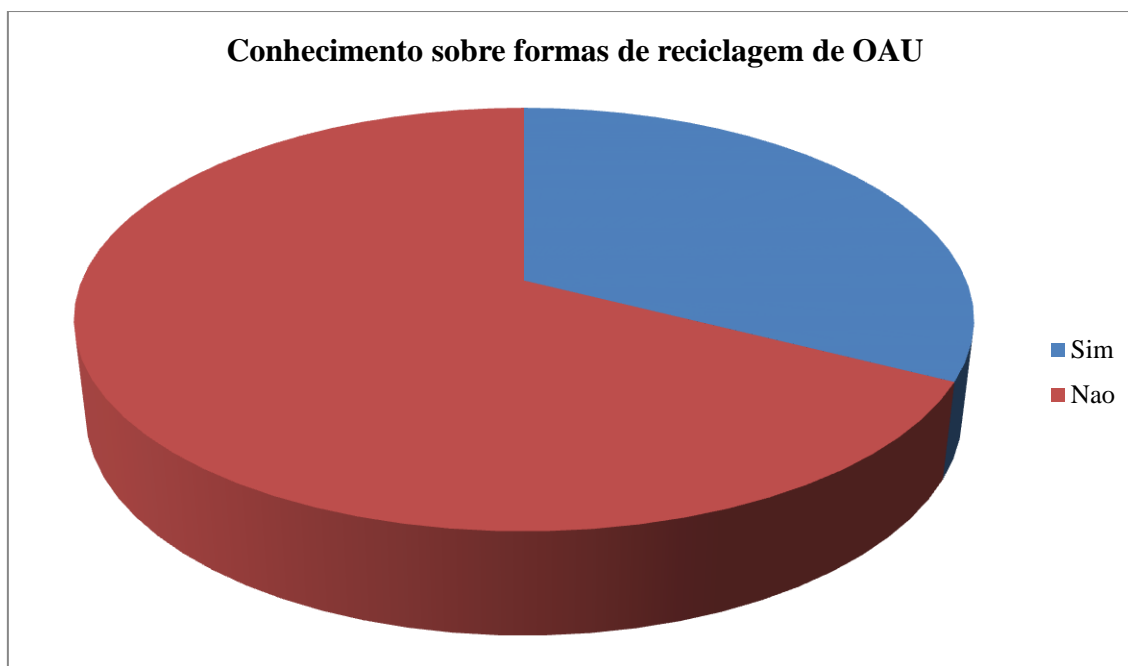
Tabela 12: Conhecimento sobre formas de reciclagem de óleos alimentares usados.

Conhecimento sobre formas de reciclagem de OAU's	Frequência	Percentagem
Sim	13	32,5%
Não	27	67,5%

Total	40	100,0%
-------	----	--------

Fonte: Elaboração própria

Figura 17: Gráfico de representatividade do conhecimento sobre formas de reciclagem de óleos alimentares usados.

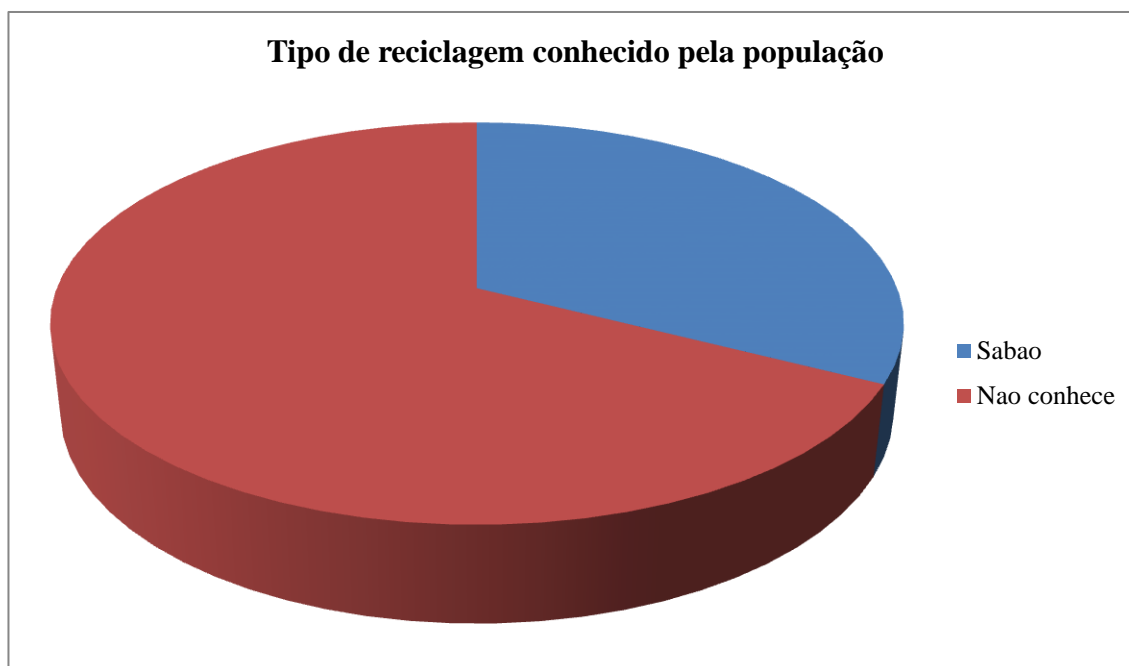


Fonte: Elaboração própria

Da população inquirida somente 32,5% está consciente sobre formas de descarte de óleos alimentares usados, o que é um aspecto preocupante do ponto de vista de educação sócio-ambiental, dado que são exactamente os proprietários de bares e restaurantes.

A única forma de reciclagem de óleos alimentares usados conhecidas pela população é a reciclagem pelo meio de sabão (figura 18), sendo que a ilha possui uma fábrica para tal, mas que de acordo com dados já constatados, uma percentagem pouco significativa da população adere a esta via para sua reciclagem (figura 18).

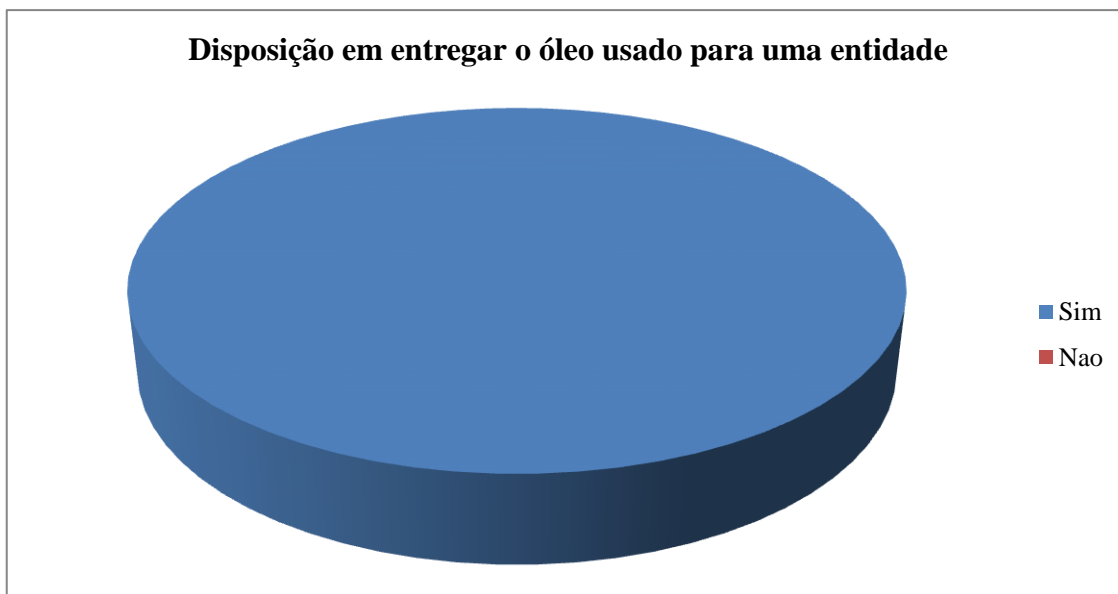
Figura 18: Gráfico da representatividade do tipo de reciclagem conhecido pela população.



Fonte: Elaboração própria

Na figura 19, pode-se constatar que a população inquirida na sua totalidade estaria disposta em armazenar os óleos alimentares usados e entregar a uma entidade de recolha.

Figura 19: Gráfico da representatividade da disposição pelas pessoas em entregar os óleos alimentares usados a uma entidade de recolha.



Fonte: Elaboração própria

3.1.2 Logística para a cadeia de produção de biodiesel utilizando como matéria-prima óleos de frituras residuais.

Em Cabo verde não existe legislação específica para limitar o seu uso, descarte e valorização de óleos alimentares usados e muito menos em relação à produção e comercialização de biodiesel.

A reciclagem de óleos alimentares usados oferece ao Departamento ambiental do Município uma alternativa de tratamento de um residuo que ocasiona alguns problemas ambientais a serem resolvidos como entupimento da rede de esgoto e mau funcionamento da ETAR.

Quanto maior o conhecimento da população em relação à educação ambiental dos óleos alimentares usados, maior será a probabilidade do sucesso de um projecto que envolva a recolha deste resíduo para produção de biodiesel, o que na verdade demonstra que apenas o conhecimento pode trazer a consciência sobre esta problemática, entre outras relacionadas ao desenvolvimento sustentável (Lago *et al*, 2017).

É muito importante conhecer a origem de o óleo alimentar usado visto que sofre significativas alterações tornando-se pertinente a caracterização prévia dos óleos, sendo

que a qualidade do biodiesel produzido está diretamente ligada com as propriedades do mesmo.

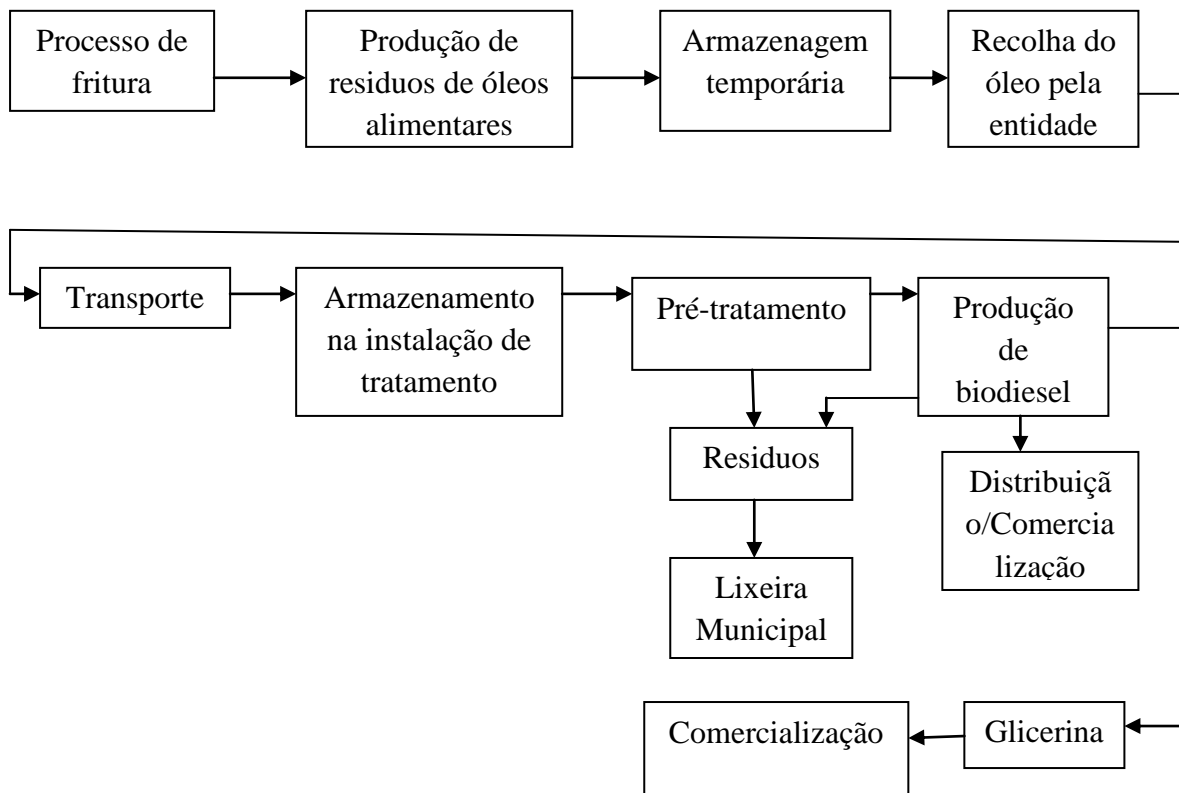
Os óleos são caracterizados consoantes a origem, disponibilidade, qualidade e custos para utilização como combustível (Neto *et al*, 2003).

Quanto a origem os óleos podem ser provenientes de frituras domésticas, frituras comerciais (lanchonetes, bares), frituras industriais, matadouros e tratamento de esgotos. Os óleos usados provenientes de frituras domésticas é o tipo de resíduo que dispõe de uma maior qualidade e, por isso, o que exige menor tratamento perante os restantes tipos de óleo acarretando menores custos na produção do biodiesel, contudo, é o que coloca mais problemas a nível de quantidade disponível, uma vez que o principal problema ao nível da recolha doméstica é a sua rentabilização em termos económicos, o que provavelmente só será possível com a intervenção das autarquias, pois a matéria-prima em si não tem qualquer custo. O óleo proveniente de estabelecimentos comerciais é semelhante ao óleo doméstico, entretanto, a qualidade do óleo é relativamente menor, sendo que o preparo exige um pouco de tratamento e o volume recolhido ou quantidade disponível é sem dúvida maior. Em contrapartida, os óleos residuais provenientes do processamento em unidades industriais e associados a atividades dos matadouros são o tipo de resíduo cuja quantidade disponível é maior e cuja qualidade exige maiores processos de tratamento acarretando custos maiores a produção. As matérias gordas do tratamento de esgotos, além de não possuir qualidade para uso como combustível, exigem grandes e complexos processos de tratamento, aumentando significativamente o custo da cadeia de produção de biodiesel, mas que, entretanto, apresenta uma grande fonte de matéria-prima para produção de biodiesel (Neto *et al*, 2003).

Se levada em conta estes aspetos para caracterização do óleo alimentar usado para produção de biodiesel, em Cabo Verde pode-se dizer que a melhor escolha para uma rota produtiva sustentável seria os óleos provenientes de frituras domésticas e comerciais, uma vez que somente os óleos de frituras domésticas não seria o suficiente para uma cadeia produtiva do biodiesel e os óleos provenientes destas origens apresentam maiores qualidades e menores custos na produção.

É importante conhecer toda a logística de tratamento e valorização dos resíduos de óleos alimentares usados desde sua recolha, armazenamento e transporte e até sua valorização (Mauricio, 2008).

Figura 20: Logística de uma cadeia de produção de biodiesel utilizando como matéria-prima os óleos de frituras residuais.



Fonte: Elaboração própria

Produção de resíduos de óleos alimentares: Estabelecimentos de hotelaria e de restauração.

Armazenagem temporária: A armazenagem nos locais de recolha será feita em recipientes de capacidades diferentes em função da quantidade de resíduo produzida e periodicidade de recolha, recipientes de 20 e 50L, de material adequado para conter o óleo a altas temperaturas e com abertura larga para facilitar a deposição. Os recipientes serão identificados como depósitos de resíduos de óleos alimentares usados a aguardar recolha.

Recolha: A recolha será efectuada semanalmente nestes estabelecimentos e serão transportados em um veículo adaptado para receber os recipientes ou com tanque e

mangeira de sucção para esvaziar os recipientes, para posterior tratamento numa instalação própria. Sempre que efectuada a etapa de recolha dos óleos, para cada recipiente ocupado será fornecido ao estabelecimento um recipiente vazio e limpo com a mesma capacidade.

Transporte: Depois de recolhidos os óleos, estes serão transportados para a instalação de armazenamento da entidade, para posterior tratamento e produção de biodiesel.

Armazenagem: A armazenagem no local de tratamento será feita em grandes recipientes de 100L de material apropriado para conter o óleo.

Pré-tratamento: Na etapa de pré-tratamento será efectuada a filtração, secagem e demais procedimentos de pré-tratamento para melhorar a qualidade da matéria-prima em estudo. Esta etapa será muito importante para um bom seguimento das próximas etapas, uma vez que nem todo o óleos residual recolhido pode ser efectivamente reaproveitado, devido a impurezas e quantidade de água que óleo possa conter, entre outros aspectos, que inviabilizam a sua valorização para a totalidade da quantidade recolhida (Mauricio, 2008). Os resíduos gerados serão encaminhados para a lixeira municipal para o tratamento. Aconselha-se que na lixeira seja transformada em novas soluções de descarte para o devido tratamento. Para possíveis soluções⁴.

Produção de biodiesel: Será utilizado o processo de hidroesterificação para produção do biodiesel, seguindo todos os procedimentos apresentados no experimento em escala laboratorial que será descrito neste capítulo, podendo ampliar-los em maior escala.

Distribuição/Comercialização: O biodiesel será distribuído por diferentes postos de abastecimento da ilha e comercializada como aditivo B5 (5% de biodiesel e 95% de diesel).

Comercialização da glicerina: O subproduto gerado da produção de biodiesel será comercializado para empresas de cosméticos na ilha e para empresa farmacêutica Emprofac. Acreditando que novos nichos de mercado possam vir a surgir para o aproveitamento desta matéria-prima. O excesso de glicerina será devidamente tratado e queimado.

⁴ Graça, E. (2018). Aterro sanitário em São Vicente para Deposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos. Uma alternativa Com Benefícios Energéticos – Relatório de trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de Licenciatura, Universidade do Mindelo, Mindelo.

As principais dificuldades a serem enfrentadas pela entidade de recolha e produção do biodiesel estão associadas à falta de sensibilização da população em relação aos óleos alimentares usados (67,5%) e a falta de fiscalização por autoridades competentes quanto à frequência de utilização desses óleos. Neste sentido, é de extrema importância apostar em campanhas de sensibilização que transmitam à população orientações sobre alguns cuidados a serem tomadas, adoptando boas práticas de frituras e correcta separação e deposição dos óleos alimentares usados. Esta sensibilização tem como objectivo informar à população sobre a importância e vantagens de reciclagens de óleos usados como melhoria na qualidade do ambiente e da saúde pública e acautelar a entidade com posteriores custos desnecessários ocasionando à lotes de óleo recolhidos com pequena quantidade efectivamente recuperável, caso o óleo não reúna as características necessárias, tendo que ser submetidos à vários tratamentos (Maurício, 2008).

Tabela 13: Matriz FOFA da cadeia de produção de biodiesel através de óleos alimentares usados recolhidos na ilha de São Vicente.

Forças	Fraquezas
<ul style="list-style-type: none"> • A matéria-prima, os óleos alimentares usados serão oferecidos pelos estabelecimentos hoteleiros e de restauração; • Primeiro projecto do ramo realizado na ilha; • Promoção de inclusão social; • Reaproveitamento de um residuo que antes era descartado incorrectamente; • Impactes ambientais positivos; • Quantidade de residuo gerado significativa para sua valorização; • Disposição das pessoas em entregar os óleos a uma entidade de recolha; • Campanhas de sensibilização 	<ul style="list-style-type: none"> • A aceitação do produto no mercado; • Falta de sensibilização da população em relação ao reaproveitamento desses óleos e aos impactes negativos do seu incorrecto descarte; • Falta de fiscalização por autoridades competentes da frequência de utilização dos óleos nos estabelecimentos hoteleiros e de restauração; • Recolha do residuo com pequenas quantidades de óleo efectivamente recuperável; • Processo de produção ainda pouco

quanto ao descarte e formas de reciclagem dos óleos alimentares usados.	estudado; • Furto dos óleos armazenados/Venda ilegal.
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> • Diversificação das fontes de energias no país; • Deficiência no sector energético do país; • Potencial turístico da ilha; • Inexistência de projectos ou entidades de recolha dos óleos para produção de combustível em São Vicente; • Surgimento de soluções inovadoras no sector de transportes, potenciadoras de eficiência energética. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de legislação específica para regulamentação e certificação de biocombustíveis em Cabo Verde; • O incumprimento do acordo estabelecido entre a entidade recolhedora e o estabelecimento de recolha; • Custo do processo e materiais, sendo que quase todos os materiais são importados; • Preços competitivos em relação ao diesel de petróleo.

Fonte: Elaboração própria

3.2 Procedimentos laboratoriais de produção de biodiesel utilizando como matéria-prima óleos alimentares usados.

Neste experimento foi realizada a síntese de biodiesel a partir de dois processos, a transesterificação em duas etapas e hidroesterificação de óleo alimentício usado, com etanol, utilizando catalisadores ácidos e básicos.

3.2.1 Materiais e Equipamentos:

- Aparelho de teste de água – Electromantle ME;
- Aparelho de Flash Point – Strirren Mains Persky Marteus;
- Placa aquecedora – GallenKamp;
- Viscosímetro com banho de óleo Tamson Zoetenmer TV 4000;
- Viscosímetro cronómetro Stanhope-Seta;
- Proveta de 500mL;

- Proveta de 100ml;
- Size 3 e 2;
- Balão de fundo redondo de 500mL;
- Seringa de 5mL;
- Seringa de 600mL;
- Densímetro de 900-950kg/m³;
- Termómetro de 0-40°C;
- Termómetro de 0-300°C;
- Equipamento de Segurança Pessoal;
- Suporte de balão de fundo redondo;
- Funil de decantação de 100mL.

3.2.2 Produção de biodiesel via transesterificação em duas etapas

Para que os óleos alimentares usados sejam utilizados como matéria-prima para a produção de biodiesel via transesterificação deve-se proceder a um pré-tratamento.

O pré-tratamento dos óleos foi efectuado pela seguinte maneira:

- 1º Filtrou-se o óleo coletado (utilizar filtros de cozinha por ex: filtros de café) (figura 1, anexo A) (Filho, 2010);
- 2º Secou-se o óleo filtrado (secar o óleo por 1h sobre uma chapa aquecedora)(figura 1, anexo A) (Filho, 2010) ;
- 3º Foi diminuído o nível de acidez do óleo podendo se recorrer a acidificação do óleo ou titulação do óleo com fenolftaleína. A acidificação do óleo é realizada através da adição de catalisadores ácidos no óleo, neste caso o ácido sulfúrico (H₂SO₄). Num balão de fundo redondo colocar 0,25L de óleo usado e pré-aquecer em banho-maria. Adicionar 1,25mL de H₂SO₄ (0,5% m/m da massa do óleo) e 70mL de etanol. Após a mistura, a esterificação será feita num recipiente fechado até temperatura de 65°C em 1h. Colocar a mistura num funil de decantação, deixar repousar por 6h e depois remover a fase inferior. Pode ser adicionado solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) na mesma quantidade que o ácido, para diminuir a acidez da mistura e leva-lo ao neutro. A titulação do óleo com fenolftaleína é feita mediante a titulação do óleo de fritura com 1% de

fenolftaleína em álcool etílico (10 gotas por titulação). Adicionar pequenas quantidades de hidróxido de sódio (NaOH) até o pH do óleo se tornar básico (cor rosado claro). Com esta solução pode se determinar quanto catalisador falta para que o óleo passe de ácido para básico (Dib, 2010). Depois de usar um desses 2 procedimentos prosseguir para cálculo de nível de acidez através da metodologia apresentada pelo Instituto Adolfo Lutz (1985) (Cunha, 2016) (equação 3.1):

$$AC = \frac{V \times f \times 5,61}{P}$$

(Eq 3.1)

Onde: AC – índice de acidez;

V – volume de NaOH usado na titulação;

f – fator de correção do NaOH;

P – número de gramas da amostra;

Reação de transesterificação: Aqueceu-se a amostra do pré-tratamento em banho-maria. Adicionar etanol e o NaOH a parte num balão de fundo redondo e agitar sob uma placa aquecedora e depois juntar ao óleo e agitar até se tornar uma mistura homogênea numa faixa de 50-60°C durante uma 45min (figura 2, anexo A) (Shi et al, 2012).

Para sabermos as quantidades certas dos reagentes a ser usada para a síntese de ésteres recorreu-se primeiramente a conhecer características químicas dos compostos como as massas molares relativas médias (M_r), $M_{r(\text{etanol})} = 46\text{g/gmol}$, $M_{r(\text{NaOH})} = 40\text{g/mol}$ e $M_{r(\text{óleo soja})} = 873\text{g/mol}$, as densidades (ρ), $\rho_{(\text{etanol})} = 0,792\text{g/mL}$ e $\rho_{(\text{óleo})} = 0,9\text{g/mL}$ (Constantino *et al*, 2004).

Transformar a massa do óleo para gramas (equação 3.2):

$$\text{massa em quilogramas} = \frac{0,25}{0,9} = 0,277\text{Kg}$$

(Eq 3.2)

A quantidade de etanol na reação é calculada utilizando uma razão molar álcool/óleo 6:1 através da seguinte equação (Sani et al, 2012) (equação 3.3):

$$m(etanol) = \frac{6 \times m(óleo) \times Mr(etanol)}{Mr(óleo)} = \frac{6 \times 277 \times 46}{873} = 87,6g$$

(Eq 3.3)

Transformar a massa de etanol para litros (equação 3.4):

$$massa \text{ em litros} = \frac{87,6}{\rho(etanol)} = \frac{87,6}{0,792} = 110,6 \text{ mL}$$

(Eq 3.4)

A quantidade de catalisador alcalino na reação é calculada através da seguinte equação (Sani et al, 2012) (equação 3.5):

$$m(NaOH) = \frac{0,35 \times m(óleo)}{100} = \frac{0,35 \times 277}{100} = 1g$$

(Eq 3.5)

Obs: O valor da massa do catalisador obtido é próximo ao valor recomendado para 0,25L de óleo, que é 1g, equivalente a 0,35 %m/m (em relação a massa do óleo) (Dib, 2010).

Separação de fases: O processo de separação consiste na separação das duas fases formadas pela mistura através da decantação e/ou centrifugação depois de algum tempo de repouso da mistura. A fase mais pesada da mistura é a glicerina, sendo a fase mais leve o biodiesel. Ambos estão contaminados com excesso de álcool, água e catalisador (Encarnação, 2008). Para este estudo foi considerado um repouso durante 6h para depois separar por decantação.

Recuperação e desidratação do álcool: O álcool utilizado no processo é recuperado para ser reutilizado posteriormente. A recuperação é feita através da evaporação do álcool, sendo que os vapores resultantes são mais tarde liquefeitos num condensador. Para desidratar o álcool que ainda contém significativa quantidade de água é feita a destilação. A desidratação do etanol é complexa, dado que é um reagente que tem afinidade com a água e não apresenta uma volatilidade relativa tão acentuada quanto o metanol (Maurício, 2008). Em falta a um destilador retirou-se o álcool com o uso de seringas de 50mL.

Purificação do biodiesel: O biodiesel produzido ainda contém alguns contaminantes como triglicerídeos e metanol, catalisador, mono e diglicerídeos, sabão, glicerol, entres outros que podem ser prejudiciais aos motores (Encarnação, 2008). A recuperação dos ésteres é feita através da lavagem húmida, onde é adicionado água ao biodiesel para dispersão dos contaminantes, até apresentar um aspeto límpido, sendo que cada lavagem deve ser seguida de uma decantação. Posterior a etapa de lavagem do biodiesel é necessário uma secagem deste, que é feito através da secagem por aquecimento, que consiste numa secagem com agitação lenta até aos 60°C, durante o tempo necessário para evaporação de toda a água (Maurício, 2008). Para lavagem dos ésteres neste experimento, primeiro foi adicionado 61mL de solução aquosa com 5% de (ácido clorídrico) HCl e deixado em repouso para separação por decantação. Depois foi lavado o biodiesel com uma solução saturada de NaCl de 61mL e deixado em repouso para separação por decantação. Por fim, foi adicionar 76,5mL de água destilada e removido (Santos *et al*, 2015). Foi secado o biodiesel sob vácuo em chapa aquecedora á 60°C por 1h, em seguida resfriar e pesar para cálculo de rendimento (Filho, 2010).

A conversão em ésteres é dada por (Neha *et al*, 2013) (equação 3.6):

$$\text{Conversão} = 100 - \% \text{ valor glicerina}$$

(Eq 3.6)

3.2.3 Produção de biodiesel via hidroesterificação

Diferente do processo de transesterificação, a hidroesterificação ainda não possui nenhuma fórmula tabelada para quantificar os reagentes a ser utilizados na reação, sendo que, para calcular a concentração do álcool e catalisador foi feita uma relação de proporção entres as massas e massas molares relativas médias dos compostos.

Reação de hidrólise: Foi aquecida uma amostra de 0,25L do pré-tratamento em banho-maria (figura 3, anexo A).

Utilizou-se uma razão molar óleo/água 1:3 (Machado, 2017), com $M_{r(\text{água})} = 18\text{g/mol}$ (Constantino *et al*, 2004):

$$n(\text{óleo}) = \frac{m(\text{óleo})}{Mr(\text{óleo})} = \frac{227}{873} = 0,3 \text{ mol}$$

(Eq 3.7)

$$n(\text{água}) = n(\text{óleo}) \times 3 = 0,3 \times 3 = 1 \text{ mol}$$

(Eq 3.8)

$$m(\text{água}) = Mr(\text{água}) \times n(\text{água}) = 18 \times 1 = 18g = 0,018 \text{ Kg}$$

(Eq 3.9)

Para água não é necessário converter os kg para L pois tem $\rho = 1$, logo $m_{(\text{água})} = 0,018\text{L} = 18\text{mL}$.

Acidificar a água com 1% de H_2SO_4 (equação 3.10) ou utilizar a água destilada para a reação de hidrólise (Priviero, 2016).

$$1\% \text{ H}_2\text{SO}_4 = \frac{277}{100} = 2,77\text{mL}$$

(Eq 3.10)

Neste experimento foi utilizada a água destilada como reagente na etapa de hidrólise.

Num balão de fundo redondo adicionar o óleo e a água destilada e agitar sobre uma placa aquecedora numa temperatura de 250°C , durante 30min. Colocar a mistura em um decantador deixar repousar e separar (Reyes *et al*, 2012).

Reação de esterificação: Utilizou-se uma razão molar álcool/óleo 3:1 (figura 3, anexo A) (Amarales *et al*, 2012):

0,5L de óleo equivale a 0,63 mol de substância como já constatado anteriormente.

$$n(\text{etanol}) = \times n(\text{óleo}) = 3 \times 0,63 = 1 \text{ mol}$$

(Eq 3.11)

$$m(etanol) = Mr(etanol) \times n(etanol) = 46 \times 1 = 46g$$

(Eq 3.12)

Para passar a massa de etanol para L:

$$massa\ em\ L = \frac{46}{0,792} = 58\ mL$$

(Eq 3.13)

Utilizou-se 10% m/m de H₂SO₄:

$$10\% H_2SO_4 = \frac{277 \times 10}{100} = 27,7mL$$

(Eq 3.14)

Misturar os reagentes num balão de fundo redondo e agitar numa placa aquecedora em banho-maria por 30min á 150°C (Reyes *et al*, 2012).

Não necessita de etapa de separação de fases pois a glicerina se forma na etapa de hidrólise.

Purificação do biodiesel: Diferente do processo da transesterificação, a lavagem dos ésteres é opcional. Para lavagem dos ésteres, adicionar 76,5mL de água destilada e remover por decantação (Santos *et al*, 2015). Para verificar a completa eliminação dos contaminantes, monitora-se o pH da água de lavagem que deve ficar em torno de 7 (neutro). Secar o biodiesel sob vácuo em chapa aquecedora á 100°C por 30min, em seguida resfriar e pesar para cálculo de rendimento (Filho, 2010).

A conversão em ésteres é dada por (Neha *et al*, 2013) (equação 3.6):

$$Conversão = 100 - \% valor glicerina$$

(Eq 3.6)

IV. PLANO ECONÓMICO E FINANCEIRO DA FÁBRICA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

O custo de produção de biodiesel é influenciado por fatores, tais como (Duncan, 2003):

- O custo de operação da instalação: incluindo a construção da instalação, serviços, matérias-primas necessárias para o processo escolhido, armazenagens, entre outros;
- O tipo de matéria-prima utilizada no processo: tipo de óleo usado, tipo de álcool e de catalisador;
- O sub-produto glicerina, que, constitui uma outra via de lucro na produção de biodiesel ou como um inconveniente no seu custo de produção;
- O rendimento e qualidade de biodiesel e glicerina produzida do óleo.

A estimativa do custo de implementação de uma fábrica de produção de biodiesel e o seu consequente preço por litro foi baseada nos resultados da produção do biodiesel em escala laboratorial e de uma fábrica de produção que produza até 7.920L/mês. As quantidades de catalisador, álcool e de água necessário foi estimada segundo o experimento laboratorial aumentando a proporção para 26 dias de operação da fábrica.

4.1 Investimento

Para a ilha de São Vicente será montada uma fábrica de produção de biodiesel com capacidade de 7.920L/mês.

Segundo Vernini *et al* (2015), uma fábrica de produção de biodiesel com capacidade de 7.920L/mês acarreta um investimento inicial em máquinas e equipamentos de 116.700.00R\$ que equivale a 3.005.025\$00ECV e as instalações um custo de 30.232.00R\$ que equivale a 778.474\$00ECV, um total de 3.783.499\$00ECV. Embora este valor seja atribuído para uma fábrica de produção de biodiesel pela transesterificação, pode ser atribuída a uma fábrica que utilize o processo de hidroesterificação, pelo que são os mesmos equipamentos utilizados em ambas diferindo-se pelo processo em si utilizado.

Os valores de custo dos equipamentos estão incluídos os seguintes equipamentos (Vernini *et al*, 2015):

- Tanques de armazenagem de óleo de 100L;
- Caldeiras aquecedoras do óleo;
- Sistemas de filtração;
- Reator;
- Decantadores;
- Destiladores;
- Condensadores;
- Tanque de armazenagem do biodiesel de 10.000L;
- Tanques de armazenagem do H₂SO₄;
- Tanques de armazenagem do etanol de 10.000L;
- Compressor de ar;
- Equipamentos de laboratório para controle de qualidade;
- Equipamentos de segurança, entre outros.

A tabela 14 mostra o valor do investimento necessário para implementação da fábrica de produção de biodiesel.

Tabela 14: Investimentos

Investimento Inicial	
Descrição	Total
Ativos Fixos	
Obras e instalações	5 4,00\$
Equipamentos da fábrica	3 005 025,00\$
Fundo de Maneio	694 403,00\$
Total de Ativos Fixos	4 477 902,00\$
Fontes	
Recursos próprios	897 580,00\$
Recursos de terceiros	3 590 322,00\$
Total de Fontes	4 487 902,00\$

Fonte: Elaboração própria

O investimento inicial ronda os 4.487.902\$00ECV, sendo que consistirá na construção de uma pequena fábrica e na aquisição dos equipamentos de produção.

O investimento contempla também um fundo de maneiio para cumprir com os compromissos mais imediatos.

4.2 Rendimentos/Receitas

A tabela 16 a seguir demonstra as quantidades físicas e monetárias das matérias-primas envolvidas no processo em relação ao consumo mensal de uma fábrica de produção de biodiesel, assumindo uma recolha de óleo em todos os estabelecimentos comerciais da ilha e que a fábrica seja preparada para receber até 10.000L de óleo mensalmente. Para obtenção das quantidades das matérias-primas foi considerada a evaporação e recuperação da água destilada no processo da hidrólise e utilizada para duas hidrólises, logo a quantidade de água destilada a ser consumida passa para 3420L/mês, contabilizando a água utilizada na lavagem do biodiesel, que também pode ser reutilizada mas não se optou por essa via devido aos contaminantes presentes na água. Para o álcool utilizado na esterificação pode-se fazer o mesmo através da destilação e condensação deste. Se considerada uma recuperação em 95% do volume do etanol utilizado na esterificação terá um consumo desta matéria-prima em 2440L/mês, um consumo diminuído quase pela metade do valor (4640L/mês), se descartada a hipótese de recuperação do álcool.

Tabela 15: Consumo mensal de matéria-prima para produção de biodiesel, considerando uma recolha de 10.000L/mês.

Matéria-prima	Preço unitário	Quantidade requerida mensalmente	Custo mensal
Óleo de fritura residual	0\$00CVE	10000L	0\$00ECV
Etanol	123\$2CVE ⁵	2440L	300.608\$00ECV
Água destilada	55\$00CVE	3420L	188.100\$ECV
Ácido sulfúrico	1.266\$5 ⁶	1000L	1.266.500\$00ECV

⁵ markets.businessinsider.com

⁶ www.carolina.com

TOTAL	1.755.208\$00ECV
--------------	-------------------------

Fonte: Elaboração própria

Para conhecer o gasto de energia elétrica da instalação procedeu-se ao cálculo da energia elétrica gasta no processo de hidroesterificação para um valor aproximado, sendo que não foi possível estimar este valor na sua totalidade devido aos vários equipamentos e tarefas que são realizadas numa fábrica de produção de biodiesel.

Os cálculos foram elaborados assumindo os seguintes dados (Rao *et al*, 2015):

- Preço de 1KWh = 24,59CVE⁷ (média tensão);
- Calor específico da água = 4,18 KJ/Kg°C;
- Calor específico do óleo de soja = 1,96 KJ/Kg°C;
- Perda de calor por radiação e convecção de 10%;
- Potência de reator de 15 KW.

A eletricidade gasta na secagem do óleo (25-60°C) foi calculada da seguinte forma (Rao *et al*, 2015):

$$\begin{aligned} \text{Energia requerida para aquecimento} &= \frac{Q}{0,9} = \frac{m(\text{óleo}) \times cp \times \Delta T}{0,9} \\ &= \frac{10000 \times 1,96 \times (60 - 25)}{0,9} = 762222,2KJ \\ &\quad \text{(Eq 4.1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Equivalente em KWh} &= \frac{762222KJ}{3600s} = 211,7KWh \\ &\quad \text{(Eq 4.2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Custo electricidade mensal} &= 211,7 \times 25,49 = 5396\$2CVE \\ &\quad \text{(Eq 4.3)} \end{aligned}$$

Eletricidade gasta na hidrólise com duração de 1 hora (Rao *et al*, 2015):

$$\begin{aligned} \text{Custo electricidade mensal} &= 26 \text{ dias} \times \text{potência reator} \times \text{número de horas de trabalho} \\ &\times 24,59 = 26 \times 15 \times 1 \times 24,59 = 9590\$1CVE \end{aligned}$$

⁷Tarifa de electricidade de média tensão imposta pela Agência Regulamentora Económica (ARE) em Cabo Verde.

(Eq 4.4)

Eletricidade gasta na esterificação utilizando-se o mesmo reator que na esterificação, com duração de processo de 1 hora (Rao *et al*, 2015):

$$\text{Custo electricidade mensal} = 30 \times 15 \times 1 \times 24,59 = 9590\$1\text{CVE}$$

(Eq 4.5)

Eletricidade gasta na lavagem do biodiesel, considerando um aquecimento da água de 25-60°C (Rao *et al*, 2015):

$$\begin{aligned}\text{Energia requerida para o aquecimento} &= \frac{m(\text{água}) \times cp \times \Delta T}{0,9} \\ &= \frac{3760,5 \times 4,18 \times (60 - 25)}{0,9} = 611290,2\text{KJ} = 169,8\text{KWh}\end{aligned}$$

(Eq 4.6)

$$\text{Custo electricidade mensal} = 169,8 \times 24,59 = 4175\$4\text{CVE}$$

(Eq 4.7)

Electricidade gasta na secagem do biodiesel (25-110°C) (Rao *et al*, 2015):

$$\begin{aligned}\text{Energia requerida para o aquecimento} &= \frac{m(\text{biodiesel}) \times cp \times \Delta T}{0,9} \\ &= \frac{7799 \times 1,96 \times (110 - 25)}{0,9} = 1299313,4\text{KJ} = 360,9\text{KWh}\end{aligned}$$

(Eq 4.8)

$$\text{Custo electricidade mensal} = 360,9 \times 24,59 = 8874\$5\text{CVE}$$

(Eq 4.9)

$$\begin{aligned}\text{Custo total electricidade} &= 5396\$2 + 9590\$1 + 9590\$1 + 4175\$4 + 8874\$5 \\ &= \mathbf{37626\$3ECV}\end{aligned}$$

(Eq. 4.5)

Custo dos equipamentos:

O custo total dos equipamentos será de 3.005.025CVE, assumindo que estes equipamentos tem um vida útil de 20 anos, considerando uma taxa de amortização do investimento dos equipamentos em 10 anos tomando uma taxa de juros de 10%, conforme estipulado pelo banco Caixa Económica de Cabo Verde (CECV) para investimentos em energias renováveis (www.caixa.cv), podemos calcular o custo mensal dos equipamentos (Rao *et al*, 2015).

$$\begin{aligned} \text{Quitação dos equipamentos em 10 anos} &= 3005025 \times (1 + 0,1 \times 10) \\ &= 6010050\$00\text{CVE} \end{aligned}$$

(Eq 4.10)

$$\text{Quitação mensal dos equipamentos} = \frac{6010050}{10 \times 12} = \mathbf{50083\$75ECV}$$

(Eq 4.11)

Renda do sub-produto glicerina:

Foi assumido como preço de um litro de glicerina bruta de 50\$00ECV (Rao *et al*, 2015) e 15% de produção de glicerina no processo como no experimento laboratorial.

$$\begin{aligned} \text{Renda mensal da glicerina} \\ &= \text{quantidade de glicerina produzida mensalmente} \\ &\times \text{preço por litro} = 1500 \times 50\$00 = \mathbf{75000\$00ECV} \end{aligned}$$

(Eq 4.12)

$$\begin{aligned} \text{Custo total mensal da operação da fábrica} \\ &= 1755208\$00 + 37626\$3 + 50083\$75 = \mathbf{1842918\$05ECV} \end{aligned}$$

(Eq 4.13)

Tendo em conta que 10000L de óleo produzirá 7900L de biodiesel, conforme o rendimento obtido no experimento laboratorial, o preço de um litro pode ser encontrado pela seguinte forma:

Preço de um litro de biodiesel

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Custo total mensal da operação da fábrica} - \text{Renda glicerina}}{\text{Produção mensal de biodiesel}} \\ &= \frac{1842918\$05 - 75000}{7900} = \mathbf{223\$8ECV} \end{aligned}$$

(Eq 4.14)

Segundo Zang *et al* (2003), o alto custo de biodiesel é a maior barreira na sua comercialização, custeando aproximadamente 1,5 vezes o custo do diesel mineral.

O preço de um litro de biodiesel encontrado neste estudo representa-se como 2 vezes o valor do preço atual do gasóleo que é 114\$3ECV.

Este resultado é consequência do rendimento não muito elevado obtido no experimento em escala laboratorial da produção do biodiesel que, certamente pode ser otimizado para 85% de biodiesel e 10% de glicerina conforme dados apresentados por Castro, *et al* (2017), utilizando a mesma ideologia mas com melhores condições de uma fábrica de produção, que reúne as condições mais preparadas para tal.

Por outro lado, o elevado preço das matérias-primas (95,2% do custo de produção do biodiesel) como o etanol e o ácido sulfúrico são fatores que também influenciam muito o preço final do biodiesel, visto que são compostos muito caros. No caso dos países produtores de etanol, como no caso dos Estados Unidos e Brasil, o etanol é mais barato faz com que este álcool seja o principal álcool na rota de produção de biodiesel e que as fábricas não tenham muitas despesas com esta matéria-prima (Castro, et al, 2017).

O preço da matéria-prima é o fator determinante do custo de produção do biodiesel e seu preço final. Embora, o óleo alimentar usado será doado pelos estabelecimentos comerciais o seu custo no pré-tratamento e o custo do processo de produção que exige reagentes mais caros acarreta um alto custo na sua produção (Zang et al, 2003).

Se levada em consideração um máximo rendimento do processo utilizado na fábrica em 85% de biodiesel e 10% de glicerina (Castro et al, 2017), obtém-se uma produção mensal de 8500L de biodiesel e 1000L de glicerina, logo o preço de um litro de biodiesel passará para:

$$\text{Preço 1L de biodiesel} = \frac{1842918\$05 - 50000\$00}{8500} = \mathbf{211\$00ECV}$$

(Eq 4.15)

Logo pode-se observar que aumentando o rendimento do processo de produção do biodiesel, o seu preço tende a baixar.

Para análise de viabilidade económica do projecto foi utilizada o software Excell, para cálculo das receitas anuais, os custos fixos e variáveis.

Tabela 16: Receitas (valores anuais)

Produtos /Serviços	Preço de venda	Quantidade mensal	Valor anual
Biodiesel/litro	211,00\$	8500	21 522 000,00\$
Glicerina/litro	50,00\$	1000	600 000,00\$
			- \$
TOTAL			22 122 000,00\$

Fonte: Elaboração própria

Prevê-se proveitos de 22.122.000\$00ECV no primeiro ano e com aumento progressivo destes valores tendo em conta que não prevê-se distribuição de resultados mas sim reinvestimento em função dos resultados (tabela anexo B).

Relativamente aos gastos com o pessoal, inicialmente os valores serão consideráveis, visto o esforço que se pretende no início do negócio, mas com o desenvolvimento da atividade contempla-se em atribuir outras compensações aos colaboradores em função do seu desempenho (tabela anexo C).

Como referido anteriormente o projeto de investimento é de 4.487.902\$00ECV, valores estes que serão financiados 20% de capital próprio e o restante por empréstimo. Quanto ao empréstimo perspectiva-se a obtenção de taxas de juro de 10% anual reembolsando em prestações constantes a 10 anos (tabela em anexo D).

A rubrica dos resultados líquidos apresenta-se como negativo no primeiro ano, mas positivo nos anos seguintes e crescentes (tabela em anexo G).

4.3 Viabilidade económica e financeira

Para analisar a viabilidade de um projeto são utilizadas alguns métodos dentre eles o valor atual líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o prazo de

recuperação do capital ou payback. Um projecto é viável se VAL for superior ao valor do investimento, pagando-se a taxa de juros usada (Borsoi, 2012).

O VAL é a diferença entre as entradas (receitas líquidas) e as saídas (investimentos) de dinheiro, os chamados fluxos monetários (cash flow), devidamente atualizados, durante a vida útil do empreendimento. Se o valor for positivo ($VAL > 0$), o projeto será economicamente viável porque permite cobrir o investimento inicial, bem como a remuneração exigida pelo investidor (taxa de atualização) e ainda gerar um excedente financeiro; Se o valor for nulo ($VAL = 0$), haverá apenas a recuperação completa do investimento inicial bem como permitirá pagar a remuneração mínima exigida pelo investidor; Se o valor for negativo ($VAL < 0$), é uma indicação de que o projeto é economicamente inviável (Castro, 2012).

A TIR mede a rentabilidade média percentual do investimento e prazo de recuperação ou payback determina o número de anos necessários para que a empresa recupere o capital investido no projecto (Borsoi, 2012).

Tabela 17: Valor acrescentado líquido (VAL) e Taxa de rentabilidade interna (TIR)

	Ano 0	2019	2020	2021	2022	2023
Investimento	4.487.902					
Meios Libertos Operacionais		-2.298.145	2.538.154	7.749.925	11.665.486	14.632.746
Encargos Financeiros		287.974	312.657	276.754	240.851	259.550
Cash-Flow		-2.010.171	2.850.811	8.026.679	11.906.336	14.892.296
Amortizações acumuladas		529.601	1.059.202	1.588.803	2.118.405	2.648.006
Valor residual				2.899.099		1.839.897
Cash Flows	-4.487.902	-2.010.171	2.850.811	10.925.778	11.906.336	16.732.193
Cash Flows Actualizados	-4.487.902	-1.827.428	2.356.042	6.030.563	8.132.188	9.246.944
TIR a 3 e a 5 anos				12%		50%
VAL para uma taxa de 10% a 3 e 5 anos				2.071.275		19.450.407

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18: Retorno do investimento

	2019	2020	2021	2022	2023
Cash-Flows acumulados	-1.827.428	528.614	6.559.177	14.691.365	23.938.309
	0	237.568	668.890	992.195	1.241.025
Meses (necessários em cada ano)	12	8	-1	-7	-12
Payback (meses)	8				
Payback (anos)	3				

Fonte: Elaboração própria

Deste modo, o projecto possui um retorno de investimento feito em 3 anos e 8 meses, tendo em consideração que o investimento inicial é considerável(tabela, anexo F). Os resultados líquidos apresentam-se negativos no primeiro ano, mas depois mantêm-se positivos nos anos seguintes e crescentes. O principal objectivo foi demonstrar a viabilidade económica e financeira do projecto, tendo o objectivo sido cumprido tal como mostra os indicadores como $VAL > 0$, com valores de 2.071.275\$00ECV á 3 anos e de 19.450.407\$00ECV á 5 anos. A TIR á 3 anos é de 12% e a 5 anos 50%, tendo em conta o custo de oportunidade de capital de 10%.

V. RESULTADOS

O tratamento da matéria-prima é um ponto fundamental para o sucesso do processo de produção de biodiesel, sendo que o óleo foi filtrado quatro vezes para remoção de possíveis sólidos suspensos e secado por aquecimento durante uma 1h.

No final da reação retirou-se o biodiesel do balão e depositou-o no funil de decantação para separação de fases entre o biodiesel e a glicerina, processo que ocorreu após 8h de repouso, a temperatura ambiente. O excesso de álcool foi retirado com uma seringa de 50mL em substituição ao destilador.

De seguida o biodiesel foi seco sob placa aquecedora até atingir temperaturas acima dos 100°C.

O biodiesel obtido na transesterificação foi de 168mL que corresponde a 67,2% da massa do óleo de fritura residual convertido em biodiesel.

Foi obtido 61mL de glicerina no processo de transesterificação, que corresponde 24,4% da massa do óleo não transesterificado. Com este resultado é de se esperar que uma produção de grande quantidade de biodiesel deverá gerar enormes excedentes deste sub-produto, que serão difíceis de serem absorvidos pelo mercado nacional, necessitando a criação de novos mercados para tal matéria-prima.

Para medir a viscosidade do biodiesel utilizou-se um viscosímetro com banho de óleo Tamson Zoetenmer TV4000 (figura 4, anexo A) em junção com um viscosímetro cronómetro Stanhope Seta, obtendo um valor de viscosidade cinemática a 40°C de 14,3mm²/s.

O ponto de fulgor foi obtido através do aparelho de ponto de fulgor Stieren Mains (figura 4, anexo A), onde o biodiesel apresentou um ponto de fulgor de 53°C, um valor muito abaixo do mínimo exigido pelas normas que é 100°C.

O biodiesel apresentou uma densidade específica de 909Kg/m³, valor muito próximo ao intervalo exigido 850-900Kg/m³.

Na reação de hidrólise o óleo foi misturado a água acidificada com 1% de ácido sulfúrico e aquecida num aparelho de teste de água eletrotérmico até a temperatura de 125°C, onde foi evaporada a água e expelida a glicerina através de um trap do aparelho acoplado ao balão utilizado na reação (figura 4, anexo A). Por ser uma hidrólise catalisada dispensa de condições supercríticas da água. Como produtos da reação foram obtidas o óleo e 37mL de glicerina, sendo que não houve recuperação da água por ser evaporada nas tubulações do aparelho.

Não necessitando de etapa de separação prosseguiu-se a lavagem do biodiesel, que é uma etapa opcional no processo de hidroesterificação. Neste estudo optou-se por esta via como forma a eliminar contaminantes presentes no biodiesel. Fez-se somente uma lavagem com água destilada, separou-se e prosseguiu-se a secagem em placa aquecedora por 30min até temperatura de 125°C.

Para medir a viscosidade do biodiesel utilizou-se um viscosímetro com banho de óleo Tamson Zoetenmer TV4000 em junção com um viscosímetro cronometro Stanhope Seta, obtendo um valor de viscosidade cinemática a 40°C de 14,3mm²/s.

O ponto de fulgor foi obtido através do aparelho de ponto de fulgor Stieren Mains, onde o biodiesel apresentou um ponto de fulgor é de 48°C.

O biodiesel apresentou uma densidade específica de 850Kg/m³, valor dentro do intervalo exigido pelas normas, 850-900Kg/m³.

O biodiesel produzido pelo processo da hidroesterificação apresentou maior rendimento do biodiesel produzido pelo processo da transesterificação.

5.1 Discussão dos resultados

5.1.1 Discussão dos Resultados dos inquéritos/entrevistas efectuadas

Quanto aos inquéritos/entrevistas feitos a 40 estabelecimentos hoteleiros contactou-se de acordo com os dados da tabela 11 e figura 16 que os óleos alimentares usados não têm um descarte adequado, quer em termos ambientais, quer em termos da saúde pública. As formas de descarte mais recorridas pelos estabelecimentos de hotelaria e restauração em São Vicente são o decarte pelo lixo (42,2%) e pela rede de esgoto (29,7%). Estas formas de descarte de óleos usados são causadoras de grandes problemas ambientais como a

contaminação de sistemas aquáticos, poluição do solo, problemas operacionais das ETAR's entre outros.

Outra forma de descarte desses óleos igualmente negativo é a reutilização doméstica (12,5%), sendo que quando os óleos são processados em frituras sofrem alterações, adquirindo propriedades anti-nutritivas impróprias à saúde humana.

A única forma de descarte mais conhecido e eficiente constatado no estudo é a entrega desses óleos à fábrica de sabão (3,1%) que os utiliza como matérias-primas.

Os factores pelos quais há um incorrecto descarte dos óleos alimentares usados em São Vicente é a falta de conhecimento sobre formas de reciclagem desses óleos por parte das pessoas (67,5%) (tabela 12), e por não existir uma entidade de recolha de óleos residuais para fins recicláveis, como no caso desse estudo que propõe a produção de biodiesel utilizando como matéria-prima esses óleos.

Contudo, no decorrer deste questionário pôde-se constatar a vontade por parte da população na existência de uma entidade que assumisse a responsabilidade da recolha dos óleos residuais para fins benéficos, sendo que a maioria do descarte incorrecto desses óleos é consequência da falta de informação por parte das pessoas no que diz respeito a formas de reciclagem de óleos alimentares usados.

Este facto pode ser justificado pela figura 19 podendo-se afirmar que a entidade de recolha teria uma recolha satisfatória para produção de biodiesel através de óleos de frituras residuais, contando com 3 ton/mês para esses 40 casos da amostra e podendo aumentar esse valor com a aderência de novos estabelecimentos hoteleiros e de restauração e as residências da ilha.

5.1.2 Discussão dos Resultados da experiência de produção de biodiesel em laboratório

Sobre o capítulo 3.1.2, antes de mais, gostar-se-ia de alertar para o facto de que a bibliografia consultada para os testes laboratoriais teve de ser através de teses de licenciatura, mestrado e doutoramento de modo a melhor compreender os passos efectuados e conseguir a reprodução em laboratório. O que não seria possível através de artigos científicos devido à fraca disponibilidade nos motores de busca disponíveis e

pelo facto destes não terem um passo a passo exaustivo, bem como, discussões sobre valores incorretos e o que se podia fazer para melhorá-los.

Todo o processo laboratorial foi efectuado nos laboratórios da Vivo Energy. O laboratório está apetrechado para testes de qualidade dos combustíveis, contudo não se encontra preparado para a produção de combustíveis pelo que alguns passos tiveram de ser adaptados ou utilizou-se outros recipientes o que pode ter alterado ligeiramente o biodiesel.

A cor do óleo de fritura residual utilizado na produção de biodiesel apesar de não ser considerado um parâmetro fundamental fornece um indicativo da sua utilização. O óleo recolhido apresentava cor escura, o que indica o seu uso excessivo, sendo que o óleo de soja virgem apresenta cor clara.

O tratamento da matéria-prima é um ponto fundamental para o sucesso do processo de produção de biodiesel, sendo que o óleo foi filtrado quatro vezes para remoção de possíveis sólidos suspensos e secado por aquecimento durante uma 1h.

5.1.2.1 Reacção de Transesterificação

Na reação de transesterificação o óleo misturado com o etanol e o hidróxido de sódio foram mantidos sobre placa aquecedora com agitação manual durante 45 min. Embora seja indicada a utilização de um reator mecânico para a reação, mas desprovendo-se de um no laboratório, utilizou-se a técnica manual. Tal facto poderá ter prejudicado os resultados finais do biodiesel, visto que, a agitação constante e controlada de um reator mantém a mistura dos reagentes mais homogêneos com maior miscibilidade, que é o ponto crucial para a diminuição da viscosidade do óleo.

Pode-se observar que na lavagem do biodiesel com solução aquosa de ácido clorídrico que a solução aquosa apresentava-se turvo o que indica que absorveu parte dos contaminantes. Já na segunda lavagem a água destilada apresenta-se mais límpida, o que corresponde a quase inexistência de contaminantes.

O biodiesel obtido na transesterificação foi de 168mL que corresponde a 67,2% da massa do óleo de fritura convertido em biodiesel. De acordo com Mota *et al*, (2009) para cada 90 m³ de biodiesel produzidos por transesterificação são gerados, aproximadamente, 10 m³ de glicerina. O valor de biodiesel obtido em m³ foi de

0,000168. Sendo assim, o valor de glicerina para esta quantidade, em termos teóricos, deve ser $1,86 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Contudo, neste experimento foi obtido 61mL de glicerina no processo de transesterificação, que corresponde 24,4% da massa do óleo não transesterificado, ou seja, $6.1 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Uma diferença de aproximadamente $4.24 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ em relação ao valor teórico.

Este valor pode ser aproximado ao valor teórico se se otimizar o processo, melhorando as condições reacionais com equipamentos melhor preparados para a reação, utilizando catalisadores ácidos que é o mais indicado para óleos com índice de acidez acima de 1% e em vez de utilizar o etanol, como produto reacional, utilizar o metanol. Contudo, e como já se mencionou no capítulo do estado da arte, o uso do metanol apresenta mais desvantagens ambientais que o uso do etanol apesar do processo ser menos complexo.

Para o controle de qualidade do biodiesel produzido foi realizado os testes de métodos analíticos de três parâmetros: viscosidade cinemática a 40°C, ponto de fulgor e densidade específica.

O resultado obtido para a viscosidade do biodiesel ($14,3 \text{ mm}^2/\text{s}$) encontra-se acima do tabelado pelas normas de especificação do biodiesel que deve estar entre $3,5 - 5,5 \text{ mm}^2/\text{s}$. Contudo, mantém-se abaixo do que é tabelado para óleos vegetais ($35 - 44 \text{ mm}^2/\text{s}$) e em específico para os óleos de soja e girassol ($29 \text{ mm}^2/\text{s}$) a 40°C de acordo com Canciam (2010), que são os óleos maioritariamente comercializados em Cabo Verde. Para demonstrar que apesar do valor encontrado não se encontrar dentro do intervalo de especificações do biodiesel Europeu, prova que o experimento aconteceu dentro do previsto diminuindo o valor de viscosidade do matéria-prima utilizada (óleo vegetal usado). A temperatura é um factor crítico no processo de produção de biodiesel, dado que a viscosidade é dependente da temperatura tendo já uma equação que relaciona estes dois parâmetros⁸ (Canciam 2010). O aumento da temperatura provoca uma diminuição da viscosidade. Desta forma, o resultado obtido está intrinsecamente relacionado com a temperatura. Este experimento foi efectuado a 60°C, e é de esperar que ao aumentar a temperatura a viscosidade diminua. Contudo outro fator relacionado a estes resultados pode ter sido as condições reacionais a que foi submetido o óleo; não

⁸ $\ln \eta = \ln \eta_0 + (E_a/R) \cdot (1/T)$; A Equação indica a dependência da viscosidade dos fluidos com a temperatura e a mesma pode ser utilizada com dados experimentais de viscosidade, na determinação dos parâmetros E_a e η_0

sendo possível regular a placa aquecedora para manter a temperatura em uma faixa constante e a agitação ter sido manual dificultou a manutenção do nível de rigor exigido na agitação e homogeneidade da mistura, bem como, da temperatura. Viscosidades acima da faixa exigida podem levar a um aumento do trabalho da bomba de combustível, que trabalhará forçada e com maior desgaste e com consequente combustão incompleta e aumento da emissão de fumaça e de material particulado.

Quanto ao ponto de fulgor (53°C), este apresentou um resultado inferior ao exigido pelas normas, demonstrado que possivelmente o biodiesel continha ainda elevadas quantidades de etanol e outros contaminantes. Contudo este resultado já era de esperar dado que a remoção do álcool foi feita através de uma seringa e de forma manual e não através de um destilador dado que o laboratório não dispunha de tal material. Na transesterificação é recomendada um excesso de álcool para direcionar o equilíbrio da reação para maior conversão possível, mas que no final da reação precisa ser retirada completamente por destilação para que não ocasione tais inconvenientes. Sendo o ponto de fulgor a principal vantagem do biodiesel por apresentar pouco perigo de inflamação, leva a que este resultado esteja aquém do almejado. De qualquer modo, este valor é um importante marco visto que encontra-se acima do ponto de fulgor do diesel de petróleo que é de cerca de 38°C . Ou seja, o biodiesel conseguido neste projeto inflama-se a temperaturas superiores a do diesel de petróleo permitindo um manuseamento e transporte menos exigente, dado que um combustível com um ponto de fulgor muito baixo é muito perigoso em seu transporte, manuseio e armazenamento, sendo que pode inflamar em temperaturas não muito altas.

Quanto à densidade específica o valor conseguido se encontra dentro do almejado e esperado ($850\text{-}900\text{Kg/m}^3$), o que indica que se este combustível apresentará um bom desempenho na injeção de um motor.

5.1.2.2 Reacção de Hidroesterificação

A reação de hidroesterificação dispensa etapas de diminuição do nível de acidez pois são os ácidos gordos livres produtos da reação na hidrólise.

A glicerina gerada equivale a 15% da massa do óleo de fritura residual, um valor satisfatório para quando se tem objectivo de maximizar a produção do biodiesel.

Na reação de esterificação utilizou-se um excesso de álcool de 6:1, que embora seja recomendada excessos de etanol ainda maiores por alguns autores (Reyes *et al*, 2012) e por outros (Amarales *et al*, 2012) uma quantidade de etanol inferior ao processo da transesterificação. A reação foi mantida sob placa aquecedora por 45min á 65°C com agitação manual. Igualmente ao processo de transesterificação, desprovendo-se de um reator realizou-se a reação nestas condições, sendo um pouco difícil manter a temperatura e agitação constante, que consequentemente deixa quantidades de reagentes sem homogeneizar devidamente.

No final da reação retirou-se o álcool do biodiesel através da evaporação natural do álcool à temperatura ambiente e com seringas de 50mL até o biodiesel não apresentar vestígios visíveis do álcool.

O biodiesel obtido na hidroesterificação foi de 195mL que corresponde a 79% da massa do óleo de fritura residual convertido em biodiesel. Este valor pode ser otimizado em melhores condições reacionais com equipamentos mais preparados e em vez de utilizar etanol, utilizar metanol, apesar das desvantagens mencionadas.

O valor de biodiesel obtido em m³ foi de 0,000195. Sendo assim, o valor de glicerina para esta quantidade, em termos teóricos, deve ser $2,17 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Contudo, neste experimento foi obtido 37mL de glicerina no processo de hidroesterificação, que corresponde 24,4% da massa do óleo, ou seja, $3,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Uma diferença de aproximadamente $1,53 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ em relação ao valor teórico.

Para medir a viscosidade do biodiesel utilizou-se um viscosímetro com banho de óleo Tamson Zoetenmer TV4000 em junção com um viscosímetro cronómetro Stanhope Seta, obtendo um valor de viscosidade cinemática a 40°C de 14,3mm²/s

O resultado encontrado de viscosidade é um valor muito acima do intervalo de viscosidade exigido pelas normas de especificação do biodiesel que deve estar entre 3,5-5,5mm²/s. Este resultado elevado pode ser explicado pelos parâmetros de temperatura e agitação como já referido anteriormente.

O ponto de fulgor para esta reação também apresentou-se abaixo do exigido pelas normas que é de 100°C. O biodiesel quando isento completamente de etanol apresenta um valor superior a 130°C, tornando o seu transporte, manuseio e armazenamento

seguro,. Igualmente ao biodiesel da transesterificação, a questão prende-se com a presença ainda excessiva de etanol e outros contaminantes como água, glicerina e catalisador no biodiesel.

O biodiesel apresentou uma densidade específica de 850Kg/m^3 , valor dentro do intervalo exigido pelas normas, $850\text{-}900\text{Kg/m}^3$.

5.1.2.3 Comparação do processo de transesterificação e hidroesterificação

Quando comparado os dois processos, o biodiesel produzido pelo processo da hidroesterificação apresentou maior rendimento do biodiesel produzido pelo processo da transesterificação. O que demonstra que esta rota tecnológica é mais eficiente como relatado no estado de arte e é possível produzir biodiesel de matérias gordas sem que haja grandes perdas durante o processo. Sendo que este processo apresenta melhor rendimento de produção a que dar mais atenção a estudos e implementações de fábricas que utilize esta tecnologia. Em termos de segurança do operador e conservação dos equipamentos de uma fábrica de produção, a transesterificação é melhor, visto que usa catalisadores menos corrosivos e condições reacionais mais brandas.

O processo da hidroesterificação é uma rota tecnológica viável para produção de biodiesel em países em desenvolvimento, como no caso de Cabo Verde, visto que estes países dispõem de grandes quantidades de culturas de óleos não comestíveis (Dermibas, 2008) e geram quantidades de resíduo de óleo consideráveis.

Por fim, este processo pode auxiliar na diminuição do custo final do biodiesel e na diminuição de um resíduo poluidor do meio.

5.1.3 Discussão sobre a Viabilidade Económica da produção de biodiesel em Cabo Verde

O projeto apresenta um resultado líquido negativo no primeiro ano do projeto, mas que poderá ser contornado nos anos seguintes com o progressivo aumento da eficiência de produção e vendas que consequentemente aumentará as receitas anuais.

O investimento do projeto será amortizado ao final de 5 anos, pagando-se uma taxa de juro de 10%.

Os lucros da fábrica serão revertidos em reinvestimentos contínuos ao longo dos primeiros anos só depois trará lucro para a sociedade da fábrica.

A fábrica apresenta uma amortização do investimento razoável para um projeto piloto para a ilha de São Vicente.

Dado aos vários impactes positivos que advirão deste projeto, tais como os aspetos ambientais na diminuição da poluição atmosférica, diminuição do descarte incorreto de um resíduo poluidor e aumento da eficiência da ETAR, os aspetos económicos da redução de importação de combustíveis fósseis, geração de receitas na negociação de créditos de carbono para o país, este projeto pode ser considerado um projeto sustentável e viável, apostando sempre na continua melhoria dos resultados líquidos a serem obtidos e tentar expandir a produção da fábrica reinvestindo na expansão desta e trazendo os óleos alimentares usados das ilhas próximas a São Vicente.

Pelos resultados obtidos do VAL = 2.071.275\$00ECV á 3 anos e de 19.450.407\$00ECV á 5 anos e com TIR á 3 anos de 12% e a 5 anos de 50%, o projecto confirma sua viabilidade.

O projeto apresenta um prazo de retorno do investimento em 3 anos e 8 meses.

VI. CONCLUSÃO

O uso de óleos alimentares usados como matéria-prima para produção de biodiesel é uma boa solução em relação a substituição de óleos vegetais *in natura*, por proporcionar as vantagens de diminuição do custo da matéria-prima, competição direta com o abastecimento alimentício e resolver o problema do descarte incorreto desse resíduo.

Do ponto de vista económico, a sua viabilidade está relacionada com a diminuição das importações de diesel e com as vantagens ambientais associadas ao biodiesel, tais como: recuperação de um resíduo; redução da emissão de materiais particulados e de enxofre, que evitará custos suplementares com a saúde pública e com os GEE; permite diminuir os custos de operação das ETAR's; reversão no fluxo internacional de capitais, uma vez que o aproveitamento do biodiesel permite a redução das importações de combustíveis fósseis e a comercialização internacional de certificados de redução de GEE's. O aproveitamento energético dos OAU's constitui, também, um benefício para a sociedade, pois cria alguns postos de trabalho diretos e indiretos, e possibilita a criação de uma nova atividade económica auto-suficiente (independente dos constrangimentos internacionais ligados ao petróleo).

Através do experimento em escala laboratorial realizado, pode constatar-se que a síntese dos ésteres etílicos no processo de hidroesterificação é mais eficiente em rendimento (78%) do que a transesterificação (67,2%), entretanto apresenta maior perigo para o operador devido ao uso do catalisador ácido e as condições reacionais mais críticas. Com estes resultados conseguiu-se confirmar um dos objectivos deste estudo da tecnologia escolhida, hidroesterificação apresentar maior rendimento que a tecnologia convencional, transesterificação.

Pelo estudo verificou-se que os parâmetros reacionais temperatura e agitação provocam alterações no rendimento do processo e afetam a viscosidade final do biodiesel. A presença excessiva de contaminantes (álcool, água e catalisadores) afetam as propriedades físico-químicas do biodiesel. Assim, de acordo com a superfície de resposta, o combustível não reuniu as características totalmente favoráveis para uso como aditivo ao diesel de petróleo, embora seja possível alterar essa situação em melhores condições reacionais.

O preço do biodiesel produzido neste estudo apresenta-se elevado (223\$00ECV) devido ao rendimento do processo não ter sido muito alto, entretanto este valor pode-se diminuir consoante a otimização do rendimento de produção. Para uma produção com rendimento de 85% o preço do biodiesel diminui para 211\$00ECV.

O projeto de implementação de uma fábrica de produção de biodiesel com processamento de 10.000L/mês de óleo, é orçamentado em 4.477.902\$00ECV, sendo que 20% do investimento, serão assumidos pelo capital social, correspondente a 897.580\$00ECV e os restantes 3.590.322\$00ECV, correspondentes a 80% serão obtidos por via de um empréstimo bancário, para ser pago nos 5 primeiros anos, com uma taxa de juros de 10% ao ano. O valor a reembolsar será de 587.167\$00ECV/ano correspondentes a 48.931ECV/mês + 10% de juros.

Confirma-se a viabilidade económica e financeira do projecto de implementação de uma fábrica de produção de biodiesel, adaptável a realidade de Cabo Verde, tal como mostra os indicadores com, $VAL > 0$, com valores de 2.071.275\$00ECV á 3 anos e de 19.450.407\$00ECV á 5 anos e com TIR á 3 anos de 12% e a 5 anos de 50%.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

No futuro penso que seria relevante a elaboração de projectos que abordem os vários impactes ambientais que a excessiva quantidade de glicerina pode causar ao meio ambiente, caso esta não tenha mercado com capacidade para toda a oferta.

Como ainda não é possível vender biodiesel apenas pelos efeitos ambientais que este produz, há que torná-lo o mais atrativo a nível económico. Investir em marketing adequado e política de preços para melhores avanços tecnológicos e comerciais. Neste sentido, propõem-se que seja elaborados projectos que conjuguem outra fonte de energia renovável com esta, para melhores preços de mercado.

E, ainda sugiro que, seria de grande importancia a criação de legislação no país para o ramo dos biocombustíveis.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akhihiero, E; Oghnejoboh, K; Umukoro, P. (2013). **Effects of process variables as transesterification reaction of *Jatropha curcas* seed oil for the production of biodiesel.** Internacional Journal of Emerging Tecnology and Advanced Engineering, vol. 3, n° 6, Oleh.

Amarales, A; Chenard, G; Abdala, R; Gomes, D; Reyes, Y; Tapanes, N. (2012) **Hydroesterification of *Nannochloropsis oculata* microalga's biomass to biodiesel em Al_2O_3 supported Nb_2O_5 catalyst.** GREETEC Laboratory, volume 4, número 4, pág. 204-210, Rio de Janeiro.

Aranda, D. et al, (2008). **Acid catalyzed homogeneous esterification reaction for biodiesel production from palm fatty acids.** Catalysis Letters, vol. 122, pag. 20-25.

Awolu, O; Layokun, S. (2013). **Optimization of two-step transesterification production of biodiesel from nem (*Azadirachta indica*) oil.** Internacional Journal of Energy and Enviromental Engineering, Akure.

Beltrão, N; Oliveira, M. (2008). **Oleaginosas e seus óleos: Vantagens e desvantagens para produção de biodiesel.** Documentos 201, Embrapa, Campina Grande.

Bill, J; Sônia, M. (2006). **Dossiê – Técnico, Produção de biodiesel.** Instituto de Tecnologia de Paraná.

Borowitzka, M. (1999) **Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters.** Journal of Biotechnology, vol. 40, pag. 313-318.

Bronzato, G. **Seleção das Linhagens de Microalgas para produção de biodiesel –** (Licenciatura em Engenharia Bioquímica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Canciam, C. (2010). **Efeito da temperatura na viscosidade de óleos vegetais refinados.** UEPG – Ciências Exatas Terra, vol. 16, Ponta Grossa.

Castro, R. (2012). **Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e mini-hidráulica.** Lisboa, Portugal: IST Press.

Cordeiro, C; Silva, F; Wypych, F; Ramos, L. (2011). **Catalisadores heterogêneos para produção de monoésteres graxos (biodiesel)**. Revista Química Nova, volume 34, número 3, pág. 477-486, Departamento Química, Universidade Federal de Paraná, Curitiba.

Costa, A. (2014). **Relatório de Base para Cabo Verde**. Inserido no Processo e Estratégia para o Desenvolvimento da Agenda de Ação Nacionais de Eficiência Energética (PANEE) nos Países Membros da CEDEAO, Direção Geral de Energia, Ministério do Turismo, Indústria e Energia, Praia.

Costa, P; Rossi, L. (2000). **Produção de Biocombustível Alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo usado em frituras**. Revista Química Nova, Curitiba.

Constanino, P. et al, (2004). **Fundamentos de Química Experimental**. Editora da Universidade de São Paulo Acadêmica 53, vol. 53, São Paulo.

Cunha, A. **Estudo da produção de biodiesel a partir de óleo residual do restaurante universitário da UNILAB** – (Licenciatura em Engenharia das Energias) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Acarape, 2016.

Dermibas, A. (2005). **Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non catalytic supercritical methanol transesterification methods**, Prog. Energy combust. Sci, vol. 31.

Dicionário de Língua Portuguesa. Dicionários Académicos, Lisboa, Porto Editora.

Diekelman, G; Hanz, H. (1988). **The basics of industrial oleochemistry: a comprehensive survey of selected technologies based on natural oils and fats**, Essen Pomp, pag 191.

Dermibas, A. (2008). **A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines**, Professor of EnergyTecnology, Sila Science and Energy, Trabzon.

Dib, F. (2010). **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de**

mistura em um moto-gerador. Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo.

Duncan, J. (2003). **Cost of Biodiesel Production.** Energy Efficiency and Conservation Authority, New Zealand.

Fernandez, F; Camaelo, G; Perez, J. et al, (1998). **Modeling of biomass productivity in tubular photobioractors of microalgal cultures: Effects of dilution rate, tube diameter and solar irradiance,** Biotechnology Bioenergy, vol. 58, pag. 605-616.

Ferreira, N. (2018). **São Vicente em números.** Expresso das ilhas, Rádio Morabeza, Mindelo.

Figueiredo, B; Garcia, L. (2016). **Microalgas: Alternativas Promissoras para a Indústria.** Agroenergia em Revista, vol. 10.

Filho, J. (2010). **Produção de biodiesel etílico de óleos e gorduras residuais (OGR) em reator químico de baixo custo.** Mestrado em Engenharia Mecânica de Materiais. Universidade Tecnológica Federal de Paraná, Manaus.

Franco, A; Lôbo, I; Cruz, R. (2013). **Biodiesel de Microalgas: Avanços e Desafios.** Revista Química Nova, volume 36, número 3, pag. 437-448, Brasília.

Gerhard, K.(2001). **Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales.** Revista A e G, nº47.

Gonçalves, M; Nogueira, R. (2007). **O Efeito de estufa Pode ser reduzido em a Produção e a Utilização do Biodiesel?** Revista Processos Químicos, artg. 5, vol. 1, nº 2, pag. 51-57, Goiás.

Graça, E. (2018). **Aterro sanitário em São Vicente para Deposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos. Uma alternativa Com Benefícios Energéticos – Relatório de trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de Licenciatura,** Universidade do Mindelo, Mindelo.

Guo, M. et al, (2015). **Bioenergy and biofuels: History, status and perspective,** Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 42, pag 712-725.

Instituto nacional de Estatística, (2017). **Anuário Estatístico Cabo Verde**, 2016, Praia.

Instituto Nacional de Estatísticas, (2017). **Estatísticas do Comércio Externo 2016**, Praia.

Krzysztof, J. (2016). **Efficiency of Biomass Energy: An Exericy Approach to Biofuels, Power and Biorefinneries**.

Knothe, G; Van Gerpen, J; Kharl, J; Ramos, L. (2006). **Manual de biodiesel**. São Paulo, Edgar Blucher.

Knothe, G; Dunn, R; Bagby, M. (2008). **Biodiesel: The use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels**. National Center for Agricultural Utilization Research, Department of Agriculture.

Lago, S; Rocha Jr., W. (2017). **O óleo de fritura residual como matéria-prima para a produção de biodiesel tendo como pontos de coletas Estabelecimentos de Ensino**. Revista Gestão Sustentável Ambiental, volume 6, número 1, pág. 402-431, Florianópolis.

Lião, L; Monteiro, M; Ambrozin, A. (2007). **Biodiesel: Métodos de Análise e sua Influência em Materiais Metálicos e Poliméricos**. Revista Processos Químicos, artg. 3, volume 1, número 2, pág. 32-41, Goias.

Ma, F; Hanna, M. (1999). **Biodiesel production: a review**. Bioresource Technology, pag. 1-15.

Macedo, I; Nogueira, L. (2004). **Avaliação do biodiesel no Brasil**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

Mapa de Sao Vicente disponível em www.caboverdesite.com, visitada última vez em 13 de Novembro de 2018 às 16h00min.

Mangesh, G ; Ajay, D. (2006). **Waste cooking oil – An economical source of biodiesel: A review**. Ind. Eng. Chem. Res., vol. 45, n°9, pag. 2901-2913, Saskaton.

Maurício, S. (2008). **A produção de Biodiesel a partir de óleos alimentares usados.** Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Mazubert, A; Poux, M; Aubin, J. (2013). **Intensified Processes for FAME production from waste cooking oil: a technological review**, Chemical Engineering Journal, vol. 233, pag. 201-233, Toulouse.

Mendes, D; Serra, J. (2012). **Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento**, Revista Liberato, vol. 13, nº20, Palmas.

Mota, C; Silva, C; Gonçalves, V. (2009). **Gliceroquímica: Novos produtos e processos da glicerina de produção de Biodiesel.** Revista Química Nova, vol. 32, nº3, pág. 639-648, Rio de Janeiro.

Monte, E; Fagundes, T; Ximenes, A. et al, (2015). **Impacto ambiental causado pelo descarte de óleo: Estudo de caso da percepção dos moradores de Marangue, Paulista-PE**, Revista Crama, vol. 1.

Neto, J; Nascimento, J; Sampaio, L; Chiapetti, J; Gramacho, R; Souza, C; Rocha, V. (2003). **Projecto Bio-combustível: Processamento de óleos e gorduras vegetais in natura e residuais em combustíveis tipo diesel.** An. 3. Enc. Energia Meio Rural.

Neha, P; Chintan, B; Pallavi, D; Neha, T. (2013). **Use of sunflower and cottonseed oil to prepare biodiesel by catalyst assisted transesterification.** Research Journal of Chemical Sciences, vol. 3, nº3, pág. 42-47, Gujarat.

Oliveira, F; Suarez, P; Santos W. (2008). **Biodiesel: Possibilidades e Desafios.** Revista Química Nova, nº28.

Parente, J. (2003). **Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado.** Fortaleza, TECBIO.

Parlamento e Conselho Europeu, *Lei Directiva 2003/30/CE*, 8 de maio de 2003, disponível no portal <http://www.ebb-eu.org>. visitada última vez 24 de Janeiro de 18 às 19h.

Preço do etanol em <https://markets.businessinsider.com/commodities/ethanol-price>, visitada última vez em 14 de Novembro de 2018 pelas 19:30 min.

Preço do ácido sulfúrico em <https://www.carolina.com/specialty-chemicals-s/sulfuric-acid-1-m-6-w-laboratory-grade-1-L/893423.pr.>, visitada última vez em 19 de Novembro de 2018 às 20h00min.

Preço atual do gasóleo em www.are.cv/index.php, visitada última vez em 19 de Novembro às 11h55min.

Preczeski, K; Kamanski, A; Rosseto, V; Golunski, S; Treichel, H. (2017). **Técnicas de concentração da enzima lipase de argergilles niger com posterior aplicação no tratamento de óleos residuais**. Anuais da VII jornada de Iniciação Científica e Tecnológica, Universidade Federal da Fronteira do Sul.

Protocolo de Quioto em www.mma.gov.br/clima/conveção-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto, visitada última vez em 10 de Agosto de 2018 pelas 17:39 min.

Portal da Associação Americana de Biodiesel, <http://www.biodiesel.org>, visitada última vez 24 de Janeiro de 18 às 18:35h.

Pourzolfaghar, H; Abnira, F; Daud, W; Aroua, M. (2016). **A Review of the enzymatic hydroesterification process for biodiesel production**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, University Malaysia, Kuala Lumpur.

Quercus (2002) - Associação Nacional de Conservação da Natureza, **Estratégia para a Gestão dos Óleos alimentares usados**, Lisboa.

Quercus (2003) – Associação Nacional de Conservação da Natureza, **Primeiro Encontro sobre óleos alimentares usados e biodiesel – Óleo de fritura pode substituir o gasóleo**, Lisboa.

Ramos, L; Silva, R; Mangrich, A; Cordeiro, C. (2011). **Tecnologias de produção de biodiesel**, Revista Virtual Química, vol. 3, nº5, pág. 385-405, Curitiba.

Ramos, L; Knothe, V; Oliveira, M; Wypych, S; Nakagaki, S; Krieger, N; Wypych, F; Cordeiro, C. (2017). **Biodiesel: Matérias-primas, Tecnologias de Produção e**

Propriedades Combustíveis, Revista Virtual de Química, volume 9, número 1, Departamento de Química, Universidade Federal de Paraná, Curitiba.

Rao, K; Ramakrishna, A. (2015). **Cost Estimation Analysis of Biodiesel Production from Waste Chicken Fat**, Internacional Journal of Applied Engineering Research, vol. 10, n° 4, pag. 8863-8870, Sathupally.

Reyes, Y; Chenard, G; Aranda, D; Mesquita, C; Fortes, M; João, R; Bacellar, L. (2012). **Biodiesel production by hydroesterification of microalgal biomass using heterogeneous catalyst**. Revista Natural Science, vol. 4, n°10, pag. 778-783, Rio de Janeiro.

Santos, L; Calera, C; Stringaci, J. (2015). **Estado de arte da aplicação do processo da hidroesterificação na produção de biodiesel a partir de matérias-primas de baixa qualidade**. Revista Principia, n°28, pag. 178-190, São Paulo.

Sani, W; Hasnan, K; Yusof, M. (2012). **Process Analysis for Esterification and Two-Step Transesterification in the Biodiesel Production Plant**. Internacional Journal of Mechanical e Mechatronics Engineering, vol. 12, n°6, pag.

Savalya, M; Patel, J; Dholakiya, B. (2013). **A Concise Review on Acid, Alkali and Enzyme Catalyzed Transesterification of Fatty Acid Esters of Glycerol (FAEG) to Fatty Acid Methyl Ester (FAME) Fuel**, Department of Applied Chemistry Internacional Journal of Chemical Studies, vol. 1, n° 3, Gujarat.

Shi, H; Yuan, M; Wang, T. (2012). **Design of biodiesel production processes by base-catalyzed transesterification**, Advanced Materials Research, vol. 512-515, pag. 510-514, Shenyang.

Suarez, P; Santos, A; Rodrigues, J; Alves, M. (2009). **Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: Desafios tecnológicos para viabilizá-los**. Revista Química Nova, vol. 32, n°3, pag. 768-775, Brasília.

Talatabaei, M; Karimi, K; Hórvarth, I; Kumar, R. (2015). **Recent trends in biodiesel production**. Biofuel Research Journal, California.

Tapanes, N; Aranda, D; Perez, R; Reyes, Y. (2013). **Biodiesel: Matérias-primas e Tecnologias de Produção**. Acta Scientiae e Technicae, vol. 1, n° 1, pág 120-125, Rio de Janeiro.

Tarifa de eletricidade para média tensão em www.are.cv/index.php, visitada última vez em 17 de Novembro às 18h00min.

Van Gerpen, J; Shanks, B; Pruszko, R; Clementes, D; Knothe, G. (2004). **Biodiesel production**. Disponível em www.nrel.gov, visitado última vez em 11 de Outubro de 2018 às 17h39 min.

Vernini, A; Bueno, O; Oliveira, P. (2015). **Viabilidade económica de três miniusinas para produção de biodiesel utilizando como matéria-prima o óleo de Crambe (*Crambe Abyssinica Hochst*)**. Revista Energia na Agricultura, vol. 30, n°2, pag. 164-171, São Paulo.

Zang, Y; Dubé, M; McLean, D. (2003). **Biodiesel production from waste cooking oil:2 – Economic Assessment and sensitivity analysis**. Bioresouce Technology, pag. 229-240, Ottawa.

Zervos, A. **Renewables 2017 – Global Status Report**, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, 2017.

Zuniga, A; Paula, M; Coimbra, J. (2011). **Revisão: Propriedades físico-químicas do biodiesel**. Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente, vol. 21, pag. 56-72, Curitiba.

VIII. ANEXOS

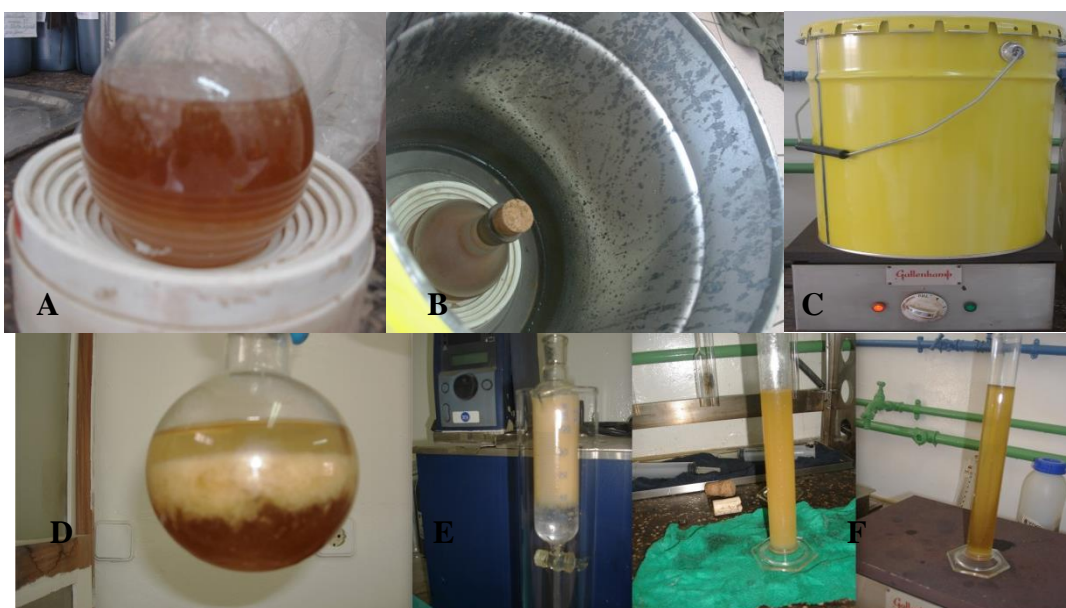
Anexo A

Figura 1: Processo de filtração e secagem do óleo



Fonte:Elaboração própria

Figura 2: Reacao de transesterificação: A – acidificação do óleo com NaCl; B e C – reação de transesterificação; D – separação de fases; E – lavagem e separação de fases do biodiesel e a água e F - Biodiesel



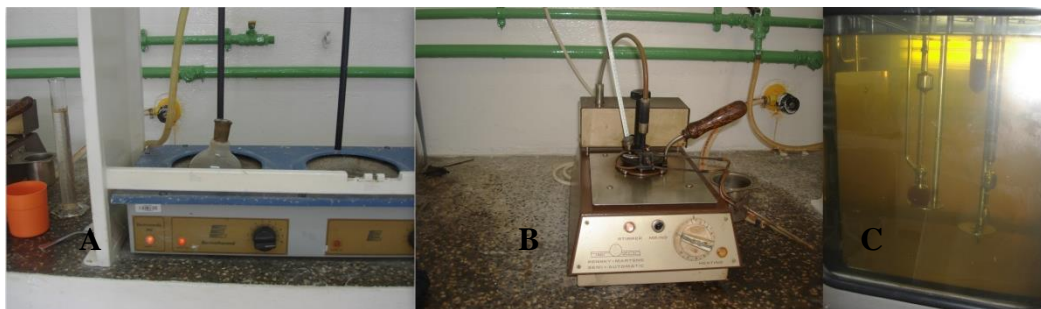
Fonte: Elaboração própria

Figura 3: Processo de hidroesterificação: A e B – reação de hidrólise; C e D – reação de esterificação; E – separação de fases da lavagem do biodiesel; F – Biodiesel.



Fonte: Elaboração própria

Figura 4: A – aparelho de teste de água Electromantle ME; B – aparelho de ponto de fulgor Strirren Mains; C – viscosímetro com banho de óleo Tamson Zoetenmer TV 4000



Fonte: Elaboração própria

Anexo B

Tabela: Receitas (valores diários, semanais, mensais e anuais)

Receitas	Diário			Semanal		Mensal		Anual	
	Quant.	Preço	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
Produtos			61 450,00		307 250,00		1 843 500,00		22 122 000,00
Biodiesel/ litro	283	211	59 783	1 416,67	298 916,67	8 500,00	1 793 500,00	102 000,00	21 522 000,00
Glicerina/ litro	33	50	1 666,67	166,67	8 333,33	1 000,00	50 000,00	12 000,00	600 000,00
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Serviços Prestados	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00
			0,00		0,00		0,00	0,00	0,00
TOTAL			61 450,00		307 250,00		1 843 500,00		22 122 000,00

Font

e: Elaboração própria

Anexo C

Tabela : Mão-de-obra (valores anuais)

Função	Qtde	Valor mensal	Valor anual
Administrador	1	45 000,00\$	540 000,00\$
Engenheiros	1	25 000,00\$	300 000,00\$
Analistas	1	35 000,00\$	420 000,00\$
Operadores	6	20 000,00\$	1 440 000,00\$
TOTAL			2 700 000,00\$

Fonte: Elaboração própria

Custos Anuais com Pessoal	2019	2020	2021	2022	2023
Administrador	360 000	360 000	360 000	360 000	360 000
Engenheiros	300 000	300 000	300 000	300 000	300 000
Analistas	336 000	336 000	336 000	336 000	336 000
Operadores	240 000	240 000	240 000	240 000	240 000
	0	0	0	0	0
Total de remunerações	1 236 000	1 236 000	1 236 000	1 236 000	1 236 000

Fonte: Elaboração própria

Anexo D

Tabela: Investimento inicial

DESCRIÇÃO	2019	2020	Total	%
Activos Fixos Tangíveis	3 793 499	0	3 793 499	85%
Terrenos	0	0	0	0%
Construção de Edifícios	0	0	0	0%
Adaptação/remodelação de instalações	788 474	0	788 474	18%
Equipamento Básico	3 005 025	0	3 005 025	67%
	0	0	0	0%
Activos Fixos Intangíveis	0	0	0	0%
			0	0%
Total do Investimento em Capital Fixo	3 793 499	0	3 793 499	85%
Necessidades em Fundo de Maneio	504 729	0	504 729	11%
Margem para Imprevistos	189 675	0	189 675	4%
TOTAL	4 487 902	0	4 487 902	100%

Anexo E

Tabela 4: Financiamento

	2019	2020	Total	%
Capitais Próprios	897.580	0	897.580	0
Capital realizado/Capital Social	897.580		897.580	20%
Capitais Alheios	3.590.322	0	3.590.322	80%
Empréstimo Bancário	3.590.322	0	3.590.322	80%
	4.487.902	0	4.487.902	

Fonte: Elaboração própria

Anexo F

Tabela: Amortização do investimento

	%	2019	2020	2021	2022	2023
Imobilizado Corpóreo		529.601,15	529.601,15	529.601,15	529.601,15	529.601,15
Terrenos	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Construção de Edifícios	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Adaptação/remodelação de instalações	10%	78.847,40	78.847,40	78.847,40	78.847,40	78.847,40
Equipamento Básico	15%	450.753,75	450.753,75	450.753,75	450.753,75	450.753,75
Equipamento de carga e transporte	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipamento Informático	25%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Programas Informáticos	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipamento administrativo	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mobiliário	13%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outro Equipamento	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outro imobilizado corpóreo	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Imobilizado Incorpóreo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas de Instalação	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas de investigação e desenvolvimento	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		529.601,15	529.601,15	529.601,15	529.601,15	529.601,15

Fonte: Elaboração própria

Anexo G

Tabela 19: Resultados líquidos

	2019	2020	2021	2022	2023
Proveitos					
Vendas	22.122.000	27.652.500	34.565.625	39.750.469	43.725.516
Mercadorias	0	0	0	0	0
Produtos Acabados	22.122.000	27.652.500	34.565.625	39.750.469	43.725.516
Total de Proveitos	22.122.000	27.652.500	34.565.625	39.750.469	43.725.516
Custos					
CMVMC	21.062.496	21.062.496	21.062.496	21.062.496	21.062.496
Fornec. Serviços Externos	1.833.675	1.833.675	1.833.675	1.833.675	1.833.675
Despesas com Pessoal	1.236.000	1.236.000	1.236.000	1.236.000	1.236.000
Amortizações	529.601	529.601	529.601	529.601	529.601
Total de Custos	24.661.772	24.661.772	24.661.772	24.661.772	24.661.772
Resultados Antes da Função Financeira	-2.539.772	2.990.728	9.903.853	15.088.697	19.063.743
Despesas Financeiras					
De Financiamento	287.974	312.657	276.754	240.851	259.550
Total das Despesas Financeiras	287.974	312.657	276.754	240.851	259.550

Resultados Antes Impostos	-2.827.746	2.678.071	9.627.099	14.847.846	18.804.193
IR - 25%	0	669.518	2.406.775	3.711.961	4.701.048
RESULTADO LÍQUIDO DO EXERCÍCIO	-2.827.746	2.008.553	7.220.324	11.135.884	14.103.145

Fonte: Elaboração própria